



TECNO CAPACITA

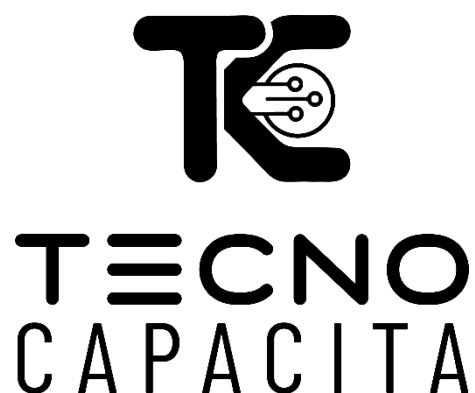
CURSO INTRODUCCIÓN A LA MINERÍA

MA-020-V0



sence





MANUAL PARTICIPANTE

INTRODCIÓN A LA MINERÍA

1

El presente programa formativo tiene como propósito entregar a los participantes conocimientos, habilidades y actitudes fundamentales para desempeñarse en entornos laborales asociados a la industria minera y otros sectores productivos que requieren altos estándares de seguridad, trabajo colaborativo y responsabilidad profesional.

A través de una estructura modular, el programa aborda contenidos relacionados con la industria minera, el cuidado del medio ambiente, la precisión en mediciones y cálculos, el trabajo en equipo, la organización del trabajo, la comunicación efectiva, la seguridad laboral, el uso adecuado de herramientas y la respuesta ante emergencias. Estos contenidos permiten fortalecer competencias técnicas y transversales necesarias para desenvolverse de manera segura y eficiente en contextos productivos.

Asimismo, el programa busca promover en los participantes una actitud responsable frente al trabajo, el respeto por el medio ambiente, la prevención de riesgos y el compromiso con el desarrollo de la industria, contribuyendo así a la formación de trabajadores preparados para enfrentar los desafíos del mundo laboral actual.

Índice

1. APRENDIZAJE ESPERADOS DEL CURSO	7
1.1. Objetivo General.....	7
1.2. Objetivo Especifico.....	7
1.3. Aprendizajes Esperados	7
2. PROLOGO	8
2.1. Desarrollo minero	8
2.1.1. Introducción.....	8
2.1.2. Contexto histórico minero.....	8
2.2. Características de la cultura minera	9
2.2.1. Introducción.....	9
2.2.1.1. ¿Sabe cómo se buscan, extraen y se procesan los recursos minerales?	9
2.2.1.2. Anomalías geológicas y prospección.....	10
2.2.1.3. Solicitud de petitorio.....	11
2.2.1.4. Selección del método de explotación.....	12
2.2.1.5. Desarrollo y preparación.....	12
2.2.1.6. Explotación.....	13
2.2.1.7. Mineral y Mena	13
2.2.1.8. Concentración.....	13
2.2.1.9. Comercialización de concentrados.....	14
2.2.1.10. Fundiciones y refinería	14
3. CAPÍTULO I: PERFORACIÓN	15
3.1. Generalidades de los equipos de perforación	15
3.1.1. Objetivo específico	15
3.1.2. Introducción.....	15
3.1.3. Objetivos de los equipos de perforación	15
3.1.3.1. Perforación de sondaje.....	15
3.1.3.2. Perforación de producción	16
3.1.4. El equipo.....	16
3.1.5. Sección inferior (mecanismo de propulsión).....	17
3.1.6. Estructura principal	18
3.1.7. El mástil.....	19
3.1.8. Función de la perforadora	21

3.1.8.1.	Condiciones de las áreas de perforación.	22
3.1.8.2.	Condiciones de operación.	22
3.1.8.3.	Tipos de perforadoras	23
4.	CAPÍTULO II :GENERALIDADES DE LOS EQUIPOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA	
	24	
4.1.	Objetivo específico.....	24
4.2.	Objetivos de los equipos de movimiento de tierra (extracción y carguío)	24
4.3.	Condiciones de área de carguío:	24
4.4.	Pala eléctrica	24
4.4.1.	Descripción general	24
a)	La tornamesa de rotación	30
b)	Pasador central	30
c)	Anillos colectores.....	31
4.5.	Pala hidráulica	32
4.5.1.	Sus componentes principales	32
4.6.	Cargador frontal	35
4.6.1.	Bastidor y brazos de levantamiento.....	36
a)	Bastidor de sección en caja.	36
b)	Torreta de carga de cuatro planchas.	36
c)	Articulación en punto central de 40°.	36
d)	Brazos de levantamiento de planchas macizas.	36
e)	Cucharones	37
f)	Cabina del operador.	38
5.	CAPÍTULO III: GENERALIDADES DE LOS EQUIPOS DE CARGUIO Y TRANSPORTE	
	40	
5.1.	Objetivo específico.....	40
5.2.	Objetivos de los equipos de carguío y transporte.	40
5.3.	Condiciones de los caminos.	41
5.4.	Función del camión de extracción.	41
5.5.	Sistema de despacho de camiones.	41
5.6.	GPS (Sistema de posicionamiento global).....	42
6.	CAPÍTULO IV: GENERALIDADES DE LOS EQUIPOS DE APOYO	43

6.1.	Objetivo específico.....	43
6.2.	Objetivos de los equipos de apoyo	43
6.3.	Condiciones de mantención de las vías de transporte.....	43
6.4.	Función de cada uno de ellos.....	43
	• Tractor montado sobre neumáticos (Wheelldozer).....	43
	• Tractor montado sobre orugas (Bulldozer).....	44
	• Motoniveladora.....	44
	• Camión regador (Aljibe)	44
7.	CAPITULO V: EQUIPOS PLANTA.....	45
7.1.	Introducción	45
7.2.	Equipos de Trituración	45
7.2.1.	Trituradoras Primarias.....	45
7.3.	Chancadores Giratorios	47
7.3.1.	Descripción del Proceso.....	48
7.3.2.	Componentes del sistema de Chancado	50
	• Chancador Giratorio:	51
7.3.3.	Chancado Secundario.....	52
7.3.4.	Trituradoras Secundarias.....	54
	a) Chancadores de Cono.....	55
7.3.5.	Chancado Terciario	56
7.4.	Cintas transportadoras	58
7.5.	Harneros.....	59
7.5.1.	Equipos de clasificación.....	61
7.6.	Aspectos Generales de la obtención del cobre.....	61
7.7.	Aglomerado.....	64
7.7.1.	Aglomeración y Curado	64
	a) Aglomeración.....	64
8.	CAPITULO VI: LIXIVIACIÓN EN PILAS	68
8.1.	Etapas en la lixiviación en pilas	68
8.2.	Sistemas de Lixiviación en Pilas	70
8.3.	Variables y parámetros operacionales	71
9.	CAPITULO VII: EXTRACCIÓN POR SOLVENTES	72

9.1.	Introducción	72
9.2.	Objetivos De Extracción Por Solventes.....	72
10.	CAPITULO VIII: ELECTRO OBTENCION (EW)	74
10.1.	Introducción	74
10.2.	Descripción Del Proceso De Electroobtención.....	74
10.3.	Electrolito a celdas de EW	76
11.	CAPITULO IX: PATIO DE ESTANQUES (TANK FARM)	77
11.1.	INTRODUCCIÓN	77
12.	CAPITULO X: PROCESO CONMINUCIÓN DE MINERALES	78
12.1.	Introducción	78
12.2.	Principales equipos asociados al proceso de molienda	79
12.2.1.	Chancado y Molienda- Conminución	79
12.2.2.	Molinos de bolas.....	79
12.2.3.	Molinos autógenos y semi-autógenos	81
12.2.4.	Tamices	82
12.3.	Molienda	83
12.3.1.	Ciclón	84
12.3.2.	Tipos de Molinos y Operaciones de Molienda.....	86
12.3.3.	Espacios confinados.....	88
12.3.4.	Cintas Transportadoras	88
12.3.5.	Pesómetro	89
13.	MÓDULO XI: NOCIONES DE FLOTACIÓN (MANEJO DE REACTIVOS)	91
13.1.	Introducción al proceso de Flotación	91
13.2.	Proceso General	91
13.3.	Principales equipos asociados al proceso de Flotación.....	95
13.4.	Nociones de manejo de reactivos	97
14.	MÓDULO XII: PROCESO DE ESPESAMIENTO Y FILTRACIÓN	101
14.1.	Introducción a la operación de Espesamiento y filtración	101
14.2.	Principales equipos asociados al proceso	104
14.3.	Tareas de Transporte de Concentrado	115



MÓDULO 1:

APRENDIZAJE ESPERADO, CRITERIOS DE EVALUACIÓN



1. APRENDIZAJE ESPERADOS DEL CURSO

1.1. Objetivo General

Desarrollar en los participantes conocimientos, habilidades técnicas y competencias transversales que les permitan desempeñarse de manera segura, responsable y eficiente en contextos laborales vinculados a la industria minera y sectores productivos afines.

1.2. Objetivo Especifico

Comprender el desarrollo histórico, económico y social de la industria minera en Chile, identificando el ciclo productivo del cobre, los principales yacimientos del país y el rol del trabajador minero dentro del proceso productivo.

1.3. Aprendizajes Esperados

- Señalar aspectos relevantes de la industria minera desde su contexto histórico y su importancia para el desarrollo del país.
- Identificar los hitos en el desarrollo de la actividad minera en Chile, especialmente aquellos relacionados con la explotación del cobre
- Ubicar los principales yacimientos mineros (cobre, oro y plata) en el mapa de Chile.
- Visualizar el ciclo de producción del cobre.
- Identificar las cuatro etapas del ciclo minero
- Diferenciar los dos procesos generales de obtención del cobre: sulfuro y óxido.
- Identificar y describir las fases del ciclo de producción del cobre, dependiendo de la extracción y del procesamiento del mineral (cobre sulfurado y/o cobre oxidado).
- Identificar el rol del trabajador minero en el desarrollo de la industria en Chile.
- Reconocer las características más importantes que circunscriben el trabajo en las faenas mineras.
- Relacionar el nivel de influencia de la industria minera al ámbito personal y laboral del trabajador minero."

2. PROLOGO

2.1. Desarrollo minero

2.1.1. Introducción

La minería constituye para el país, desde hace ya largos años, una de sus mayores fuentes de ingresos. El alto nivel de rentas que genera la existencia de recursos abundantes y de gran calidad relativa -y por ende las notables ventajas comparativas que de ello derivan- han constituido a este sector a lo largo de la historia en el principal rubro exportador y en puntal permanente del presupuesto fiscal.

Como señalara Francisco Antonio Encina, "Chile es uno de los países más favorecidos por la naturaleza del reino mineral" (Encina, 1981), y basta retroceder en nuestra historia económica para comprobar esta gran verdad. Sin embargo, una naturaleza pródiga no es suficiente. Diversos factores pueden ser determinantes en cuanto a la posibilidad de que las riquezas naturales contribuyan efectivamente al crecimiento económico y al desarrollo integral del país.

8

2.1.2. Contexto histórico minero.

El cobre ha sido considerado como “la viga maestra” del desarrollo económico chileno, y también, “el sueldo de Chile”. Podría decirse que el cobre ha desempeñado en el siglo XX un rol fundamental en el nivel de ingreso “per cápita” alcanzado por Chile.

Entonces, la pregunta ¿es importante el cobre para Chile? parecería redundante. Sin embargo, hace 3 a 4 décadas, había quejas de académicos chilenos respecto al escaso interés permanente y sistemático de medios gubernamentales, políticos y universitarios respecto de estudios serios sobre cobre. “La mayoría de las investigaciones sobre el cobre pertenecen a especialistas extranjeros”; “no es razonable que pueda aprenderse más sobre el cobre chileno en una biblioteca en el extranjero que en las chilenas”.

La verdad es que hoy la situación es sólo levemente distinta. Hay habido pocas investigaciones sistemáticas sobre cobre. Presumiblemente esto es lo que explica el alto sustento ideológico y la débil racionalidad económica que hay en el debate público de algunos tópicos vinculados al cobre.

Durante gran parte del siglo XX, las divisas constituían el cuello de botella del desarrollo económico; en consecuencia, el cobre constituía el principal mecanismo para financiar la adquisición de maquinarias y tecnología moderna. Además, si Chile no hubiera tenido cobre, los contribuyentes chilenos habrían tenido que experimentar un aumento de impuestos de 30% para financiar un gasto público similar al que hubo.

Por otra parte, el nivel de producción de cobre chileno ha experimentado una impresionante expansión en la última década. Para captar la magnitud de esta expansión reciente, observemos las siguientes cifras. En 1960 se producían anualmente algo más de 500.000 toneladas de cobre; tomó 15 años para duplicar esa producción anual a un millón de toneladas. Luego, pasaron casi 15 años para que la producción anual de cobre aumentara en otras 500.00 toneladas. En la década del 90, en sólo 10 años, la producción de cobre chileno aumentó en tres millones de toneladas; esto implica que (en promedio) cada 2 años de la década del 90, la producción chilena de cobre creció más de lo observado en períodos de 15 años en el pasado.

Actualmente Chile produce anualmente 5,4 millones de toneladas de cobre lo cual representa alrededor del 34% de la producción mundial de cobre. Antes de 1990, la participación chilena en la producción mundial de cobre era inferior al 18%.

9

No obstante lo anterior, cabe señalar que el cobre ha perdido importancia relativa para la economía chilena. Actualmente, el cobre representa algo más del 40% de las exportaciones; desde el punto de vista tributario, la recaudación obtenida de todo el sector cuprífero (incluyendo aportes de CODELCO) es inferior (en promedio) al 8% de los ingresos fiscales.

2.2. Características de la cultura minera

2.2.1. Introducción.

2.2.1.1. ¿Sabe cómo se buscan, extraen y se procesan los recursos minerales?

La minería juega un papel trascendental en nuestra historia por la ingente riqueza que ha producido y por el gran potencial de recursos naturales y humanos que poseemos, que representan prosperidad futura y que en el presente se traduce en una abundante riqueza proveniente de la exportación de metales y la consiguiente generación de divisas. El marco legal promocional y las asociaciones de empresas nacionales con extranjeras para efectuar inversiones de riesgo compartido, nos permiten vislumbrar que la minería seguirá siendo por muchos años más el motor

de la economía nacional. La minería moderna se ha convertido en una actividad altamente sofisticada que utiliza equipos de avanzada tecnología para encontrar yacimientos minerales y convertir sus minas en productos comercializables con la mínima alteración ambiental, para lo cual es preciso pasar por una serie de etapas que requieren especialistas en cada una de ellas: geólogos, mineros, metalurgistas, comercializadores, etc. y emplea para sus procesos auxiliares otros especialistas como mecánicos, electricistas, abogados, médicos, enfermeras, economistas, administradores, maestros, etc.

El mineral tal como se encuentra en la tierra, no tiene ningún valor hasta que no se le convierta en un producto comercializable mediante inversiones y trabajos de extracción y mejoramiento, que es precisamente lo que hace la industria minera, es decir, dar al material a extraer un valor agregado que lo haga deseable. Es por esta razón que pasaremos a estudiar cada una de las etapas consideradas en el proceso productivo de la minería.

2.2.1.2. Anomalías geológicas y prospección

El proceso inicial en la búsqueda de un Yacimiento Mineral, consiste en ubicar las llamadas anomalías geológicas en la corteza terrestre, es decir, zonas en que se hallan alteraciones, fallas o fracturas, y en general existan lugares diferentes de las rocas naturales. Estas zonas representan lugares geológicos en que pueden existir minerales metalíferos susceptibles de explotación.

10

Esta etapa de la búsqueda de yacimientos se llama cateo y se ejecuta generalmente por individuos llamados cateadores, que pueden actuar independientemente o a sueldo de alguna empresa. Si bien es cierto que esta fase se ha hecho y se sigue haciendo a pie o a caballo, actualmente hay manera de efectuarla con fotografías aéreas, desde aviones o helicópteros e incluso por la interpretación de los datos obtenidos en los satélites. Durante esta etapa suele también efectuarse la prospección geoquímica.

El cateo y alguna otra fase más avanzada en la búsqueda de anomalías geológicas constituyen la etapa de Prospección.

2.2.1.3. Solicitud de petitorio

Antes de efectuar ningún trabajo grande e inmediatamente después del cateo hay que asegurarse de la propiedad del terreno para lo cual se efectúa en el Registro Público de Minería un petitorio de área de concesión, con un mínimo de 100 hectáreas y según los lineamientos descritos en la ley de minería, una parte de este recurso se revierte a los municipios locales en donde se ubican las concesiones mineras.

Luego de completar la etapa de cateo y prospección, y ésta ha sido prometedora, viene la etapa de Exploración que se ejecuta con técnicas más avanzadas. En esta etapa pueden efectuarse estudios más avanzados de geoquímica, geofísica, y los sondajes diamantinos, o muestreos del terreno por medio de trincheras o canales. De los datos obtenidos en la exploración se confecciona lo que se llama un Perfil del yacimiento.

Nuevamente si éste es prometedor, se lleva adelante una mayor exploración, que mensione, cuantifique y limite las anomalías determinadas. El trabajo de gabinete consiste en combinar los datos obtenidos y con ellos calcular el tonelaje y leyes. Si estos son promisorios, se empieza a calcular y a ejecutar el llamado Estudio Técnico-Económico, en otras palabras el Estudio de Factibilidad del proyecto.

11

El Estudio Técnico-Económico consiste en calcular las reservas o sea cubicar la mina, su tonelaje y ley. Según estos datos y los costos calculados para la extracción y el tratamiento, se deduce si el proyecto es factible o no. El estudio deberá pues contener los siguientes capítulos: tonelaje y leyes, con la indicación de la ley mínima de corte; plan de desarrollo y método de minado; transporte; costos, que indiquen claramente los debidos a mano de obra; materiales e insumos; inversiones; regalías; seguros; impuestos; gastos regales; etc. totales y reducidos a costos unitarios por tonelada de mena.

Con estos datos se establece la economía del proyecto, comparando la producción y su valor con los costos a lo largo de un período, y hallando el flujo de caja esperado y la rentabilidad del proyecto.

Con un estudio de esta clase es ya posible acudir a los entes financieros para obtener dinero en préstamo para poder iniciar las operaciones. Por su

importancia, describiremos brevemente algunas de las fases del estudio de factibilidad independientemente.

El Estudio de Factibilidad no es todo lo que se requiere. También es preciso obtener las autorizaciones del Estado para iniciar las operaciones, pues es preciso que éstas no perjudiquen el medio ambiente.

Este estudio demuestra que las operaciones no alteran el entorno y que los efluentes que se producen no contengan elementos nocivos más allá de ciertos límites establecidos por la Dirección General de Asuntos Ambientales. Si después de concedida la autorización el peticionario sobrepasa estos límites se hace acreedor a una sanción.

2.2.1.4. Selección del método de explotación

El estudio técnico-económico debe, como ya hemos dicho, describir el método de explotación que se ha considerado como el más económico y eficiente. Para ello, se utilizan los siguientes criterios básicos.

- Forma, tamaño y posición especial del cuerpo mineralizado.
- Contenido y distribución de las valvas metálicas.
- Propiedades físicas y químicas del mineral y las rocas adyacentes o encajonantes.
- Factores económicos y facilidad de transporte.
- Condiciones de seguridad, de medio ambiente y disposiciones gubernamentales.
- Efectos de las operaciones subsidiarias.
- Consideraciones especiales.

El objetivo en la determinación del método es la óptima extracción de reservas con el mayor beneficio económico y la máxima seguridad en la operación. El método elegido puede ser superficial (cielo abierto) o subterráneo, dependiendo de la forma y posición del yacimiento y de la disponibilidad de capital para la inversión en equipos.

2.2.1.5. Desarrollo y preparación

En el caso de ser una mina subterránea se realizan trabajos de desarrollo para llegar hasta el mineral mediante galerías (túneles horizontales), chimeneas (túneles verticales o inclinados que no se comunican a superficie), piques (túneles verticales que salen a la superficie), rampas (túneles en forma de espiral), etc.

Posteriormente se realizan trabajos de preparación es decir se diseña en el terreno la forma de como extraer el mineral estableciendo un método de minado. El túnel principal de minado se denomina Socavón.

En el caso de minas superficiales se realiza primeramente un trabajo de desencape hasta llegar al mineral, posteriormente se realizan labores de acceso hacia el yacimiento.

2.2.1.6. Explotación

Es el trabajo que se realiza para extraer el mineral, en el caso de la minas subterráneas el proceso cíclico típico es el de perforación, voladura, acarreo y transporte fuera de la mina, se trabaja de acuerdo al método estudiado con equipos sobre rieles o sobre ruedas, esto depende muchas veces de la magnitud de la operación y del capital que tiene la empresa para inversiones en infraestructura y equipo.

En el caso de las minas superficiales la explotación sigue un proceso cíclico, que comprende, perforación, voladura, carguío y transporte. Generalmente este método es empleado por la gran minería e implica altas producciones.

13

2.2.1.7. Mineral y Mena

- Mineral: Es todo compuesto que contenga un metal valioso en la naturaleza.
- Mena: Es el mineral que puede extraerse económicamente.

2.2.1.8. Concentración

Una vez que el mineral es sacado fuera de la mina, es necesario darle un tratamiento para aumentar su pureza debido a que el mineral fuera de minas no es siempre comercial en el estado en que se encuentra, aun no posee valor de mercado. Es por eso que se le somete a un tratamiento metalúrgico llamado concentración, para aumentar su proporción o ley por tonelada. Existe una diversidad de métodos empleados que depende del tipo de mineral, su estructura, otros elementos presentes, así como del capital con que se cuenta. La tecnología y la investigación en este campo está consiguiendo procesar cada vez minerales con contenidos muy bajos que hasta hace unos años era imposible recuperarlos económicamente. En el caso del oro se recupera ahora minerales con contenidos menores a 1gr. por TM de mineral.

2.2.1.9. Comercialización de concentrados

En nuestro país somos importantes productores de concentrados, los que en esta etapa si pueden ser comercializados para ser vendidos a las fundiciones y refinerías, o si no, a fundiciones y refinerías del extranjero principalmente en Japón, USA, Brasil y Europa.

2.2.1.10. Fundiciones y refinería

En las fundiciones el concentrado es llevado a altas temperaturas para poder eliminar la mayor cantidad de impurezas, posteriormente se lleva a procesos de refinación donde los metales alcanzan una pureza elevada.

En las refinerías se lleva a cabo la refinación por fundiciones sucesivas o acendrado o si no por disolución eléctrica.

3. CAPÍTULO I: PERFORACIÓN

3.1. Generalidades de los equipos de perforación

3.1.1. Objetivo específico

- Conocer los equipos de perforación.

3.1.2. Introducción

Hace ya muchos siglos, desde tiempos muy remotos, perforando a mano, el hombre construyó pozos horadados con herramientas rudimentarias, para hacer frente a sus más urgentes necesidades. Hay que meditar sobre el hecho indiscutible que en muchos casos las dificultades, las presentan algunas condiciones físicas del subsuelo, o manifestaciones líquidas de mucha intensidad, tales como, presencia de gases o petróleo, emanaciones venenosas, etc.

Gracias al ingenio de tantas personas y el desarrollo de las tecnologías, la perforación en la actualidad, se logra mediante medios mecánicos y con fines más que nada comerciales, lo cual nos indica que no siempre será de la forma que la conocemos ahora.

Alrededor del año 1949 se introducen en la minería los primeros **TRICONOS**, que usaban presión de aire como elemento de barrido, siendo un gran avance en su momento, como lo fue el momento en que se usaron los primeros **INSERTOS** de carburo de tungsteno y actualmente el uso de **TRICONOS SELLADOS**, sin olvidar que estas tecnologías se desarrollaron principalmente para la perforación de pozos petroleros, lo que nos indica que la perforación está en constante desarrollo, lo que implica que el grado de conocimiento de los usuario también está en constante avance.

3.1.3. Objetivos de los equipos de perforación

Existen muchos tipos de perforaciones con diferentes objetivos cada uno:

- Perforación de sondaje
- Perforación de producción

3.1.3.1. Perforación de sondaje

La perforación de sondaje, cumple diferentes funciones:

- **Estudio:** Del punto de vista geológico y mineralógico para estudiar los terrenos y conocer la naturaleza.

- **Explorativos:** Para buscar y evaluar los minerales industriales y comercialmente importantes.
- **Explotación:** Agua, vapor de agua, gas y petróleo; en donde el sondaje es el único medio para buscarlos, encontrarlos y explotarlos desde el exterior.
- **Varios:** Para fines especiales. Drenajes y absorción de aguas detenidas y dañinas, para conocer y determinar resistencias de terrenos sobre los cuales levantar grandes obras de embalses, puentes, etc.

3.1.3.2. Perforación de producción

La perforación de producción, podemos dividir las en dos grandes ramas:

- **Sistema de percusión:** Donde la herramienta de corte con un movimiento alternado y vertical de subida y bajada, golpea hacia el fondo y rompe el terreno a través de incisiones muy cercanas las unas a las otras, que provocan el desprendimiento de fragmentos, cuya dimensión varía según la composición del terreno.
- **Sistema de rotación:** Donde la herramienta de corte (trícono), girando rápidamente sobre el fondo y cargado por una fuerza de empuje, extrae material, generalmente en forma de recortes muy pequeños, debido a la abrasión.

16

Nos enfocaremos solamente a la perforación con sistema de rotación, que es la utilizada actualmente

La perforación rotativa, tiene las funciones de:

- Hacer pozos de tronadura, en los cuales se rellenan con un material explosivo, para después de haber sido tronados, el material pueda ser cargado por un equipo de carguío. El material será de una granulometría, determinada por la cantidad de explosivo.
- El material perforado es recopilado y nos sirve mediante un sistema de muestreo, para poder determinar que tipo de material, calidad del mineral, dureza, etc.

3.1.4. El equipo

La perforadora, es un equipo que cuenta con tres secciones de importancia:

- **La inferior:** La cual cuenta con el sistema de propulsión, incluyéndose las orugas.

- **La estructura principal:** La que alberga la sala de máquinas y la cabina del operador.
- **El mástil:** El cual contiene la unidad de izado y la unidad de rotación.

Los dos motores de las orugas que impulsan la perforadora, lo hacen hacia delante y en reverso y están instalados en la estructura de las orugas, en la parte inferior. Para girar a la perforadora en una u otra dirección, se detiene una de las orugas y se impulsa la otra.

La cabina y la caseta del equipo, la cual alberga a la máquina principal, incluyéndose los controles eléctricos, están instaladas sobre la estructura principal.

El mástil está unido a la estructura principal. La unidad giratoria para rotar la barra se encuentra en el mástil. El izado y el impulsor cumplen la función de subir y bajar la barra perforadora.

La Figura 1.1 muestra la configuración de los componentes de importancia de la perforadora y debe consultarse al estudiarse los detalles de la unidad.

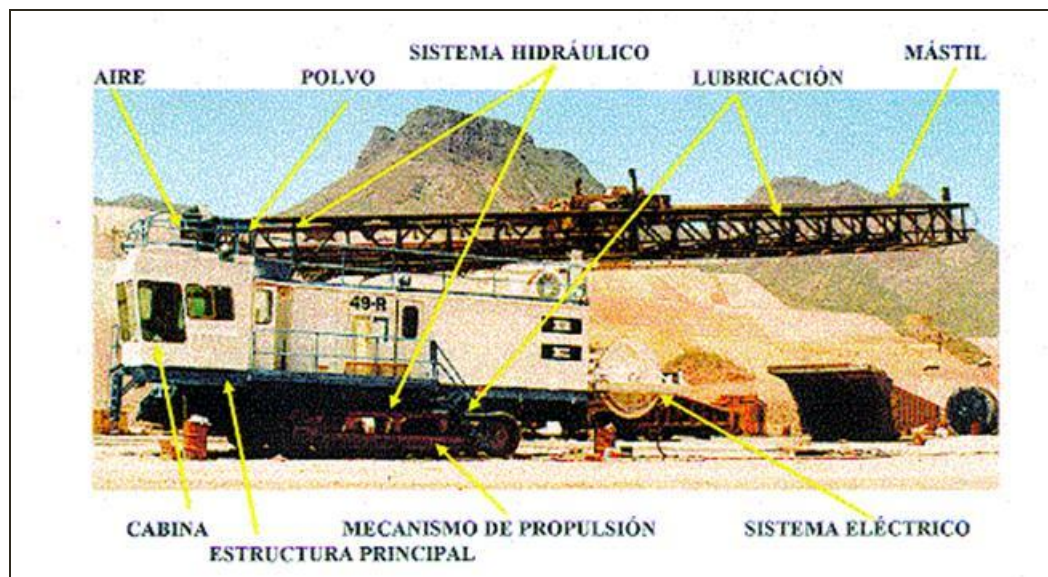


FIGURA 1.1 COMPONENTES DE LA PERFORADORA

3.1.5. Sección inferior (mecanismo de propulsión)

El sistema de propulsión es impulsado por motores hidráulicos que impulsan las ruedas motrices (ver Figura 1.2). Cada oruga es impulsada independientemente, permitiendo una rotación al revés. Esto significa que una oruga puede impulsarse hacia delante mientras la otra oruga se impulsa en la dirección opuesta. Esto permite que la perforadora pueda girar dentro de su propia longitud y pueda ser puesta en posición de manera exacta sobre las perforaciones.

Cuando se activa desde la cabina del operador, el eje propulsor del motor hidráulico rota, lo cual entrega energía y control de la dirección de las orugas. Cada oruga circula por una combinación de cilindro de transmisión, rodillo superior y aperturas, y rodillos inferiores. La vida útil de una oruga y de sus suplementarios depende, en gran medida, de las técnicas de operación mientras se impulsa la máquina y de la mantención apropiada de estos componentes.

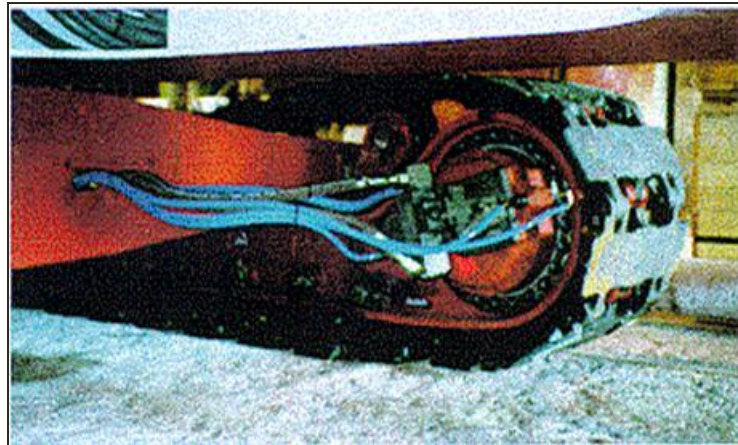


FIGURA 1.2 ORUGA DE LA PERFORADORA

3.1.6. Estructura principal

La estructura principal básica consiste de dos vigas tipo I que se encuentran unidas entre sí a través de abrazaderas y están cubiertas con unas placas de metal. La estructura principal afirma la cabina, la caseta de la maquinaria y las bases de nivelación. El mástil se conecta a la estructura principal entre la cabina y la caseta de la maquinaria.

Hay cuatro bases de nivelación montadas sobre la estructura principal, una en cada esquina de la estructura principal. Las bases son cilindros hidráulicos que se usan para nivelar la estructura principal antes de comenzar a perforar. La base niveladora es la que entra en contacto con el suelo y es la que articula para compensar los desniveles del terreno. (ver Figura 1.3)

Las estructuras que soportan la carga que sostiene la perforadora están cuidadosamente diseñadas en un acero de alta resistencia. Como ejemplo, el mástil y la estructura de apoyo "A" son consideradas estructuras importantes. Ningún tipo de soldadura o alteraciones a las estructuras deben llevarse a cabo sin la autorización correspondiente, ya que se puede debilitar la estructura como resultado de esto. Informe cualquier ruptura o señal de fatiga que pueden transformarse en un problema en cualquiera de las estructuras. La perforadora debería mantenerse lo más limpia posible para detectar cualquier trizadura o problema que implique un riesgo. Es de especial importancia inspeccionar e informar de cualquier trizadura o problemas en el mástil.



FIGURA 1.3 ARTICULA PARA COMPENSAR LOS DESNIVELES DEL TERRENO

3.1.7. El mástil

El mástil está conectado a la estructura principal entre la cabina del operador y la caseta de la maquinaria. Una estructura "A" se usa para apoyar el terminal inferior del mástil. El mástil puede ser bajado para perforar en ángulo o el mástil puede bajarse completamente para su inspección o reparación. Para bajarlo se utilizan cilindros hidráulicos.

El mástil contiene la unidad giratoria que rota la barra. La unidad giratoria, incluyéndose el motor y la caja de rotación, viaja hacia arriba y hacia abajo del mástil sobre los rieles que se encuentran unidos al mástil. Los rieles tienen unos dientes de engranaje que encajan con los piñones sobre el sistema de tiro y ensamblajes de levantamiento. A medida que los piñones "viajan" hacia arriba o hacia abajo por los rieles, la unidad giratoria ejerce presión hacia arriba o hacia abajo. El movimiento giratorio y la presión hacia abajo son elementos claves para perforar eficientemente. (ver Figura 1.4).

Los portabarras también están unidos al mástil. Se usan para almacenar las barras que se utilizan en el proceso de perforación. Los cilindros hidráulicos giran a los portabarras, ya sea para suministrar o almacenar la barra.

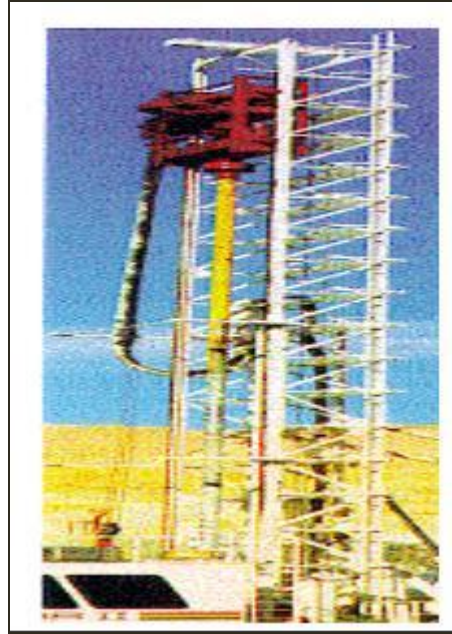


FIGURA 1.4 TORRE DE PERFORACION

La perforación se logra gracias a una herramienta de corte, llamada tricono. (Ver Figura 1.5).

20

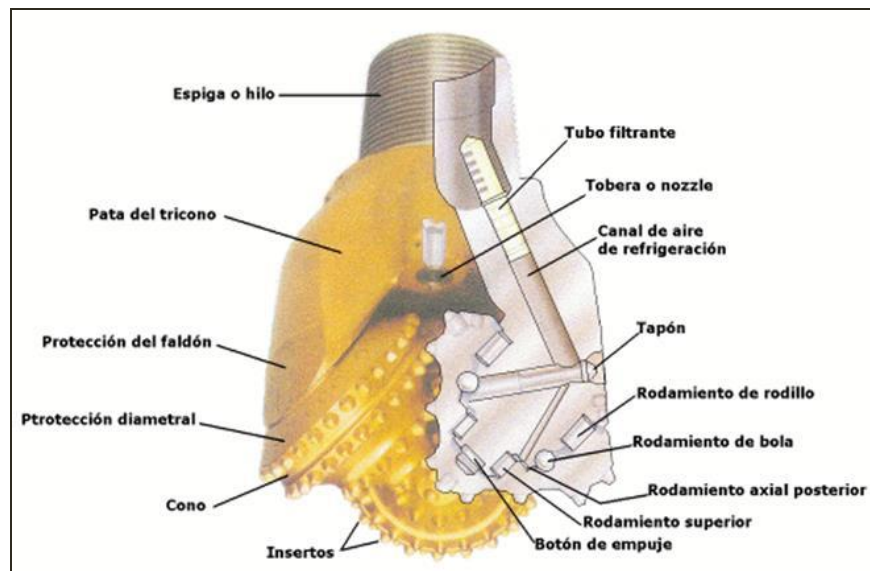


FIGURA 1.5 TRICONO

El tricono va provisto de muchos insertos, que son los que en realidad perforan. El operador de la máquina perforadora, es el encargado de darle el mayor rendimiento posible mediante parámetros variables, aplicados a este elemento tan pequeño, pero tan esencial.

3.1.8. Función de la perforadora

La función de perforación de un pozo se divide en cuatro etapas que son:

- **Empate:** es el comienzo del pozo, aproximadamente 1 metro de profundidad, lo cual nos servirá como guía para nuestro pozo en sí. Se realiza con bajas rpm, poco empuje, gran cantidad de agua y aire.
- **Perforación del pozo:** Es cuando aplicamos parámetros normales, para realizar el pozo. Dependiendo del terreno a perforar, teniendo como referencia, que en pozos en terreno blando se debe aplicar mayor rotación y poco empuje y en terrenos duros se debe aplicar menor rotación y mayor empuje.
- **Terminación del pozo:** Es cuando llegamos a la profundidad requerida para el pozo terminado. Estas profundidades están determinadas por ingeniería, para llevar un piso uniforme de acuerdo a la altura del banco a perforar.
- **Limpieza del pozo:** Es el último proceso de perforación del pozo, donde limpiamos éste retirando todo detritus posible desde el fondo del pozo. Este proceso dura del orden de 10 segundos, dejando rotar en el fondo del pozo libremente el tricono a 20 rpm aproximadamente. Con caudal de aire, pero sin agua, para luego retirar la sarta de perforación del pozo, con una rotación de aproximadamente 40 rpm, cortando el aire cuando el tricono se encuentre a un metro de salir del pozo, esto nos garantiza que el tricono al momento de salir del pozo, saldrá con aire, por el retardo de los sistemas.

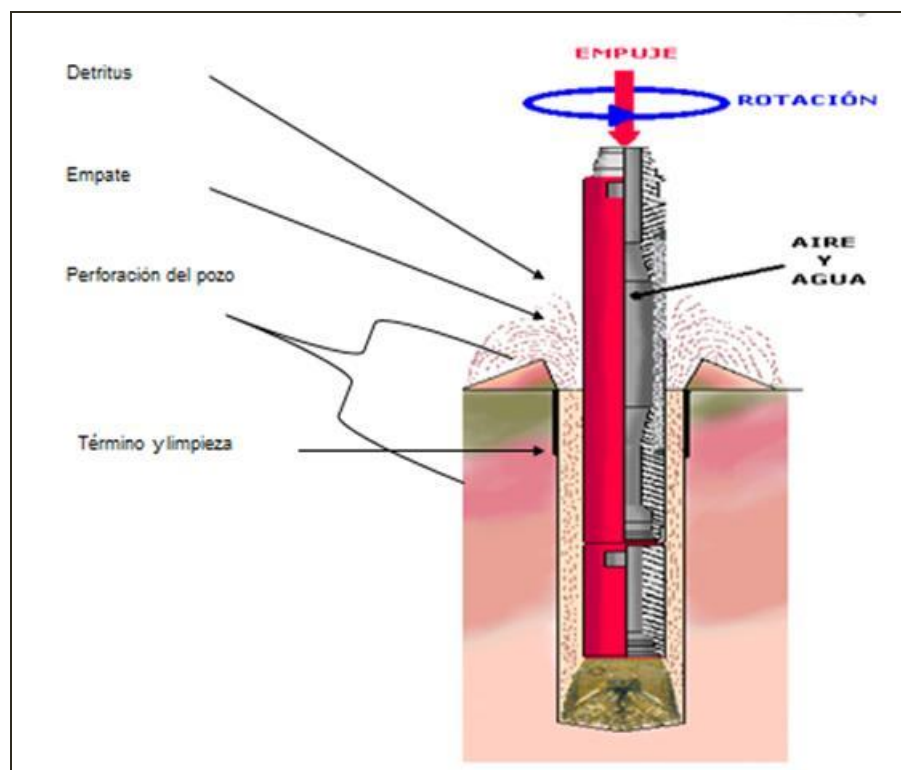


FIGURA 1.6 ETAPAS DE UN POZO

3.1.8.1. Condiciones de las áreas de perforación.

Las áreas de perforación deben cumplir con las siguientes especificaciones:

- Ancho Mínimo: $1\frac{1}{2}$ ancho de perforadora
- Largo Mínimo: $1\frac{1}{2}$ largos de perforadora
- Pendiente: No mayor del 10%
- Malla de Perforación: Debidamente marcada y señalizada

3.1.8.2. Condiciones de operación.

- La perforación se efectúa tanto en forma vertical como inclinada, con un ángulo de hasta treinta grados.
- Piso nivelado, parejo, y limpio de piedras u otros materiales.
- Los bordes y las patas deben estar totalmente limpias y sin grietas.
- Las paredes de los bancos deben estar sin bolones inestables.

- El área de trabajo debe aislarse para resguardar las estacas y los pozos perforados.
- Los pozos a perforar deben estar bien identificados (estacas reflectantes) y contener información clara en cuanto a ubicación y profundidad de ellos (metros).
- Al área marcada para perforar sólo podrá ingresar el Jefe de Turno Mina, el Ingeniero de Perforación y Tronadora, Topógrafos, camión aguador, camión grúa y camión petrolero. Cualquier otro vehículo que quiera ingresar, debe solicitar autorización al Jefe de Turno Mina.

3.1.8.3. Tipos de perforadoras



FIGURA 1.7 PERFORADORA DIESEL DMM 2 Y PERFORADORA ELÉCTRICA 49R III

4. CAPÍTULO II :GENERALIDADES DE LOS EQUIPOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

4.1. Objetivo específico

- Conocer los equipos de movimiento de tierra.

4.2. Objetivos de los equipos de movimiento de tierra (extracción y carguío)

La operación de carguío en la mina, comprende la extracción de todo el material planificado a extraer (mineral y estéril), con el objetivo que éstos sean trasladados a sus respectivos sitios (acopios y botaderos).

Esta operación se realiza en una zona llamada área de carguío y son ejecutadas por palas (eléctricas e hidráulicas) y cargadores frontales.

Las palas eléctricas e hidráulicas, históricamente han ofrecido los mejores costos unitarios en relación con larga vida de operación.

Los cargadores frontales, pueden cargar camiones desde 217 a 380 toneladas y ser más flexibles en la operación.

4.3. Condiciones de área de carguío:

- Área de carguío : Área móvil de 50 X 50 mts.
- Altura de bancos : 15 metros.
- Ángulo pared banco : 81°.
- Ancho berma final : 9.7 metros (entre borde y pata).
- Nivel de piso : Horizontal e inclinado con pendiente máxima de 10%.

4.4. Pala eléctrica

4.4.1. Descripción general

La pala de cables Bucyrus 495-B1 es una pala eléctrica, impulsada por orugas y con un sistema de carguío frontal operada por cables. La pala cuenta con tres secciones principales. (Ver Figura 2.1)

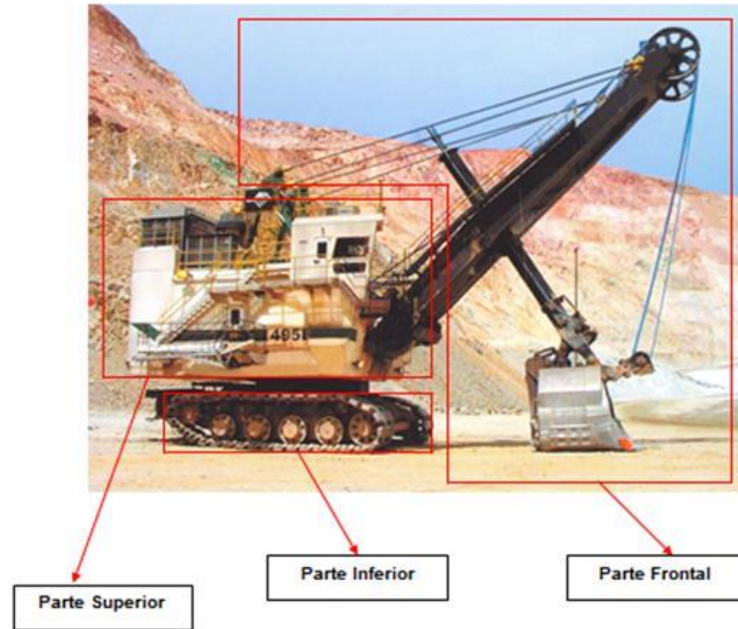


FIGURA 2.1 SECCIONES DE LA PALA

a) La parte inferior

Sirve de base para el bastidor rotativo y además cuenta con el sistema de propulsión, incluyéndose las orugas (ver Figura 2.2) adosadas al bastidor y la tornamesa donde rotan los piñones de giro.



FIGURA 2.2 ORUGA DE LA PALA

El sistema de propulsión se encuentra ubicado en la estructura inferior de la pala y está compuesto de los siguientes componentes principales:

- Orugas

- Viga tensora
- Ruedas propulsoras
- Motores de propulsión
- Rodillos superiores e inferiores
- Maquinaria de propulsión
- Ruedas tensoras
- Freno de propulsión

En el fondo del bastidor rotativo los **anillos colectores** de alto voltaje, transfieren la potencia eléctrica desde el chasis al puente giratorio. Esta potencia entra al chasis justamente por debajo del motor de propulsión y, por medio de zapatas colectoras, es transferida a los anillos. Las zapatas están montadas entre la base fundida de la columna central y la cremallera de giro.

La energía para el circuito de propulsión viaja a través de un transformador y diferentes circuitos de control. Uno de los circuitos se usa para las funciones de levante, giro y propulsión. La selección del uso y activación de la propulsión se lleva a cabo desde la cabina del operador a través del interruptor de transferencia. Cuando el interruptor de transferencia se encuentra en la posición propulsión, el motor de propulsión cuenta con poder. Cuando se activan, los ejes propulsores del motor de propulsión rotan, lo cual suministra energía y control de dirección a cada oruga.

26

La maquinaria de propulsión es accionada por dos motores de CA, cada uno montado horizontalmente en una plataforma sobresaliente del chasis. Los motores se acoplan a cajas gemelas de engranajes planetarios ubicadas bien arriba para protegerlas de daños de agua o piedras. Las cajas planetarias se acoplan a los bastidores de oruga. Cada uno de los motores incluye frenos de aire del tipo de discos de baja inercia, apretados por resorte y soltados por aire. La doble configuración planetaria con motores separados de mando permite gobernar directamente en avance o en retroceso, como también contra rotaciones de la maquina.

Cada oruga circula por una combinación de rueda de transmisión, cilindro trasero, rodillos superiores e inferiores y está adosada a bastidores, que a su vez se unen a la estructura. La vida útil de una oruga

y de sus componentes depende, en gran medida, de la operación mientras se impulsa la máquina y de una mantención apropiada de estos componentes.

Las novedosas ruedas motrices de acero fundido, de gran diámetro, tienen muñones extendidos más allá de sus pestañas y van montadas en ejes de aleación de acero que giran en grandes rodamientos dentro del bastidor de oruga. Los muñones del tipo de piñón proporcionan una amplia zona de contacto contra los eslabones de oruga, alargando la vida útil tanto de éstos como de las ruedas.

Los rodillos superiores e inferiores giran sobre ejes de acero fundido que sobresalen desde los bastidores de oruga para facilitar su mantención e inspección. Cada bastidor tiene cuatro rodillos inferiores con diámetro de 55" (1.39 m) con diseño especial para soportar las periódicas oscilaciones por terreno disparejo. El conjunto inferior tiene deflectores tipo ruca combinados con sellos de cara en "V" como defensas contra la suciedad. Los rodillos superiores, a razón de cinco por lado, soportan la parte superior de la cadena de oruga, reduciendo fricciones y flechas en la propulsión. Los marcos laterales van soldados con alivio de tensión y se fabrican de acero fundido y planchas contra tiempo frío.

27

b) Dimensiones

- Ancho :12,67 m.
- Espacio Libre del suelo a la estructura (mínimo) :0.56 m.
- Largo total de la parte inferior de la oruga :10,2 m.
- Ancho de zapata :2,15 m.
- Número de zapatas :37 zapatas c/oruga
- Peso total de la pala :1.313 Ton.
- Motor de propulsión :700Hp c/u
- Velocidad de traslado :1 1/2 Kilómetros

c) La parte frontal

La pluma, el mango, el balde, el caballete de soporte de la pluma del tipo “A”, los cables de soporte y los cables móviles. (Ver Figura 2.3)



FIGURA 2.3 CALBES DE SOPORTE

El extremo inferior de la pluma está conectado a la tornamesa por pasadores que permiten que la pluma rote verticalmente. Existe un interruptor limitador de la pluma, el cual corta la energía si el izado se opera a un punto en que la pluma comienza a retraerse contra la casa de los motores. Es un interruptor de seguridad importante, ya que si la pluma cae hacia atrás, puede causar extensas averías.

La manilla del balde puede retraerse o extenderse de la pluma a través del bloque del balde. Empujar la palanca en la dirección contraria a la pala, se denomina movimiento de balde y cuando se tira de la misma en dirección de la pala, se denomina retraer. La palanca del balde soporta grandes pesos y puede dañarse si se sobrecarga o si se le aplica demasiada fuerza. Cualquier señal de que se esté doblando debe ser informada de inmediato.

En el extremo de la palanca se encuentra instalado el balde. El balde cuenta con un aro de refuerzo y dientes en el extremo delantero o un borde cortante para cortar el material que se utiliza cuando se está cargando la pala. La

porción trasera del balde consiste de una compuerta que puede abrirse para su descarga.

El balde está diseñado para ser controlado completamente por el operador. El labio, los dientes y todo otro artículo de desgaste del labio están diseñados para ser reemplazados. Estos elementos deben reemplazarse cuando el desgaste llega al límite determinado. El no hacerlo tiene como resultado el desgaste del metal que los alberga. Si esto se prolonga, su reemplazo se hará difícil o imposible, incurriendo además en costosas reparaciones. Dichos problemas se pueden evitar fácilmente reemplazando estos elementos dentro de los límites establecidos. La causa principal de falla del balde son la fatiga y el desgaste del metal que alberga los artículos ya mencionados. La fatiga puede evitarse no cargando o aplicando fuerza excesiva sobre el balde. Cualquier desgaste excesivo del balde debe reportarse para su reparación antes que dicho desgaste se expanda y represente un costo y trabajo excesivo.

d) La parte superior.

En la cual se encuentra la cabina y la caseta de la maquinaria, la cual alberga a la maquinaria principal, incluyéndose los controles eléctricos, está instalada en la tornamesa y, consiste del propulsor del mango/balde y todo el equipo relacionado con la carga y el control del balde.

29

El conjunto de los bastidores que van adosados al chasis

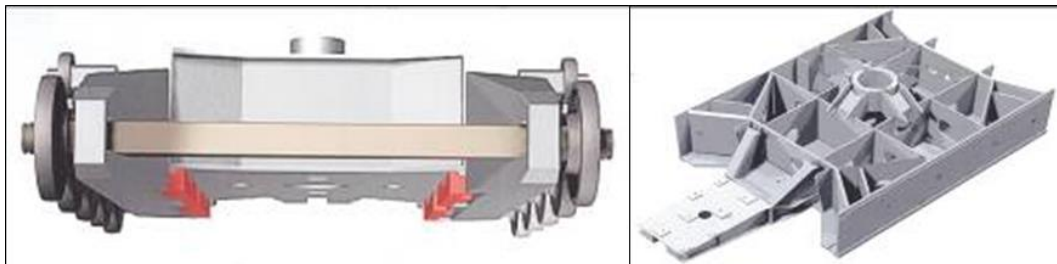


FIGURA 2.4 BASTIDORES

e) El carrete enrolla cable

Un componente importante del equipo. Contiene el cable que suministra la energía de alimentación de la pala. (Ver Figura 2.5)



FIGURA 2.5 CARRETE ENROLLA CABLE

a) La tornamesa de rotación

Tiene la capacidad de girar sobre la estructura inferior y debe, a la vez, permitir que la electricidad circule de la estructura inferior hacia la tornamesa. La base giratoria y el centro de rodillos (ver Figuras 2.6 y 2.7) están instalados en la estructura inferior. El centro de rodillos sirve de apoyo para la tornamesa a través de polines, los cuales soportan la tornamesa. La base inferior cuenta con dientes de engranaje en su circunferencia, en los cuales los piñones de giro hacen contacto y causan que la tornamesa gire hacia la dirección deseada.

30



FIGURA 2.6

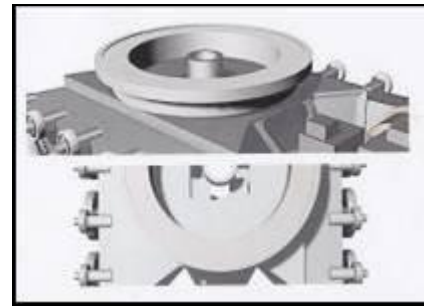


FIGURA 2.7

b) Pasador central

La estructura inferior y la tornamesa están unidos a través de un pasador central (ver Figura 2.8). El pasador es un eje vertical que le permite a la tornamesa girar manteniendo unidas a las dos estructuras. Es un componente importante de la pala ya que permite giros y flexibilidad de movimientos a la vez que también ejerce un gran esfuerzo cuando la pala se encuentra trabajando. El ajuste de este pasador para asegurar el movimiento adecuado entre la estructura inferior y la tornamesa es importante.

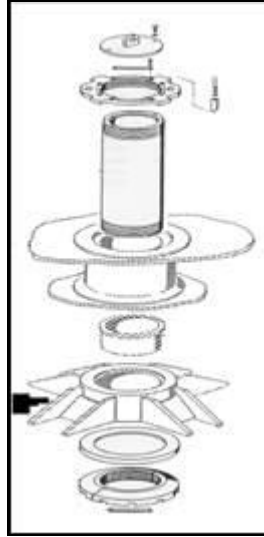


FIGURA 2. 8 PASADOR CENTRAL

c) Anillos colectores

Los anillos colectores (ver Figura 2.9) permiten la transferencia de electricidad de la estructura inferior a la tornamesa. Ya que para esto no se pueden utilizar alambres debido a la acción rotatoria. Los anillos colectores permiten la transferencia suficiente de energía utilizando acopladores de conducción los cuales transmiten la energía a los anillos colectores giratorios.

31

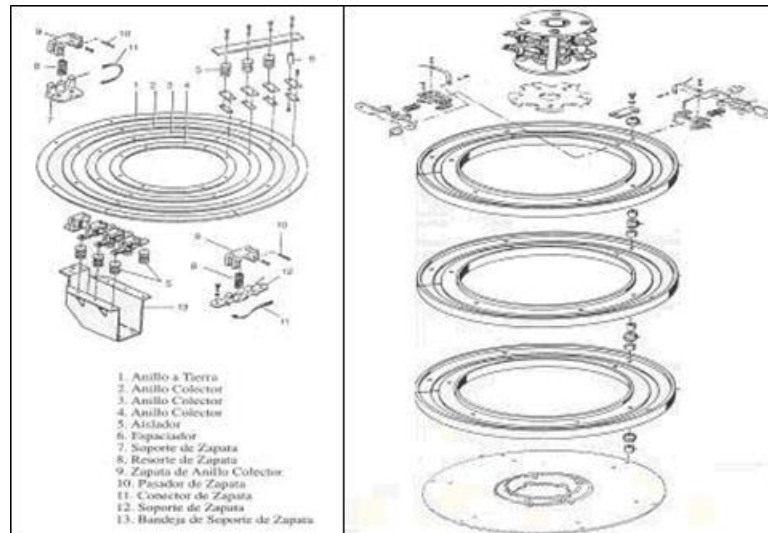


FIGURA 2. 9 ANILLOS COLECTORES

4.5. Pala hidráulica

Las funciones de la pala hidráulica son el carguío de camiones y el desarrollo de bancos de producción.

4.5.1. Sus componentes principales

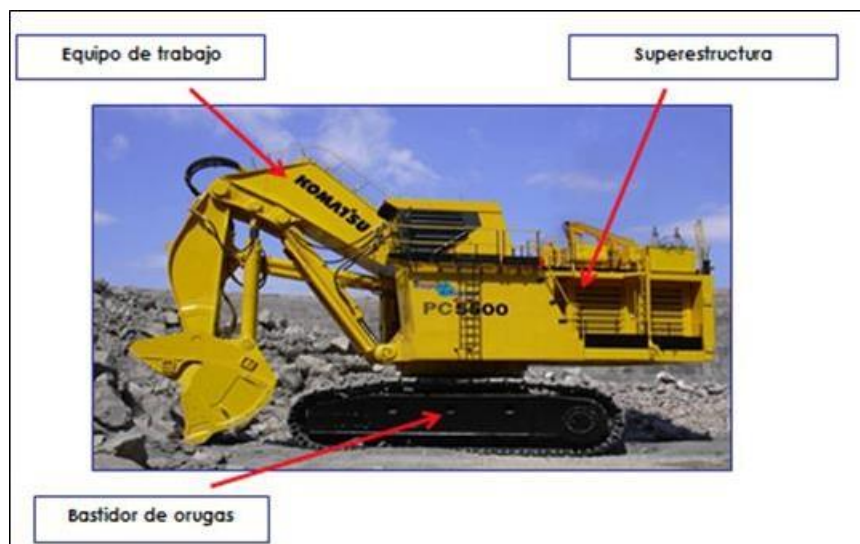


FIGURA 2. 10 COMPONENTES PRINCIPALES

a) Dimensiones básicas.

Ancho	7.95 m
Alto	8.61 m
Largo sin equipo hid. $\frac{1}{2} H + P$	12.12 m
Largo de mango	5.60 m
Largo de pluma	7.60 m

FIGURA 2. 11 DIMENSIONES BASICAS

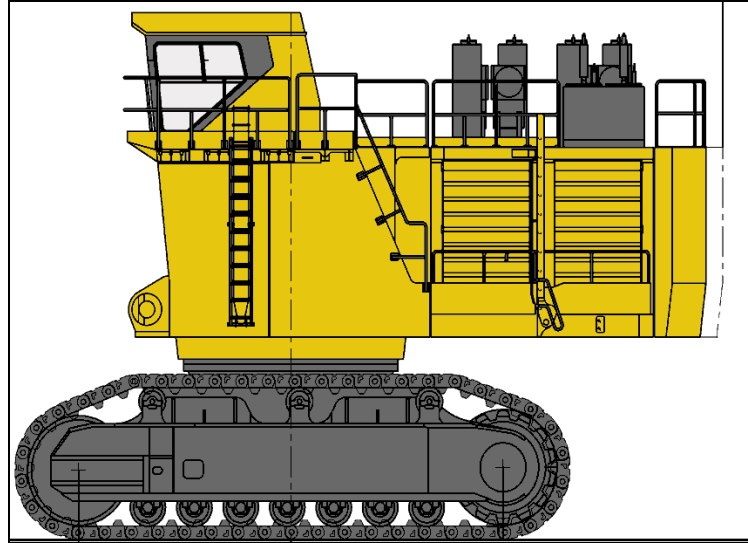


FIGURA 2. 12

b) Equipo de trabajo

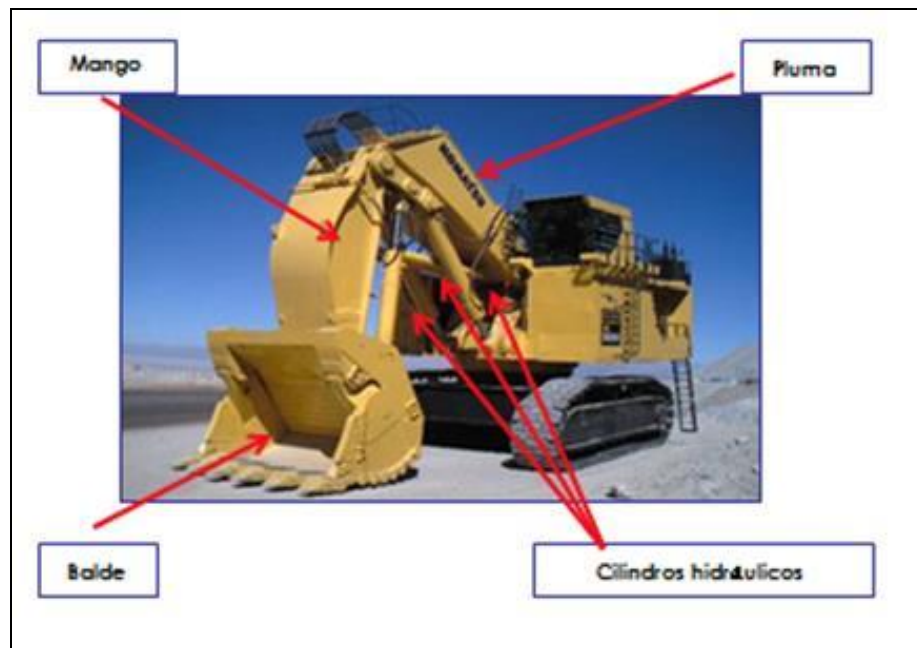


FIGURA 2. 13 COMPONENTES DE LA PLAA HIDRUALICA

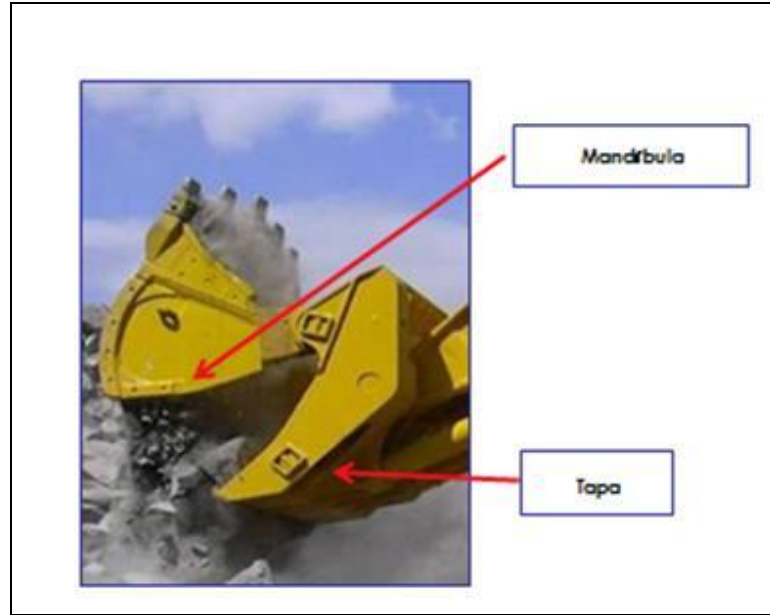


FIGURA 2. 14

c) Bastidor de orugas

34

Cada bastidor de orugas es ensamblado con pernos al bastidor central.

El tren de rodado (ver Figura 2.15) tiene rodillos de sección curva en la zona de contacto de la oruga, combinado con un gran diámetro, lo que produce una oscilación lateral en la oruga manteniendo la carga entre el rodillo y zapatas.



FIGURA 2. 15 BASTIDOR DE ORUGA

4.6. Cargador frontal

El cargador frontal (ver Figura 2.16) ha sido diseñado para realizar las actividades de carguío sobre camiones de alto tonelaje, entre otros, los camiones Caterpillar 793 C, 797 y 797 C y los camiones Komatsu 830 E.

Adicionalmente puede ser usado para labores de traspaleo de materiales, durante limpiezas y como apoyo en la confección de caminos y mantenciones de botaderos, sin embargo se debe considerar que existen máquinas especialmente diseñadas para esas funciones.

La estructura de cargador, está integrada por los siguientes componentes principales:

- Chasis o bastidor.
- Brazos de levante y varillaje o cilindros.
- Balde.
- Neumáticos.
- Cabina de operación.

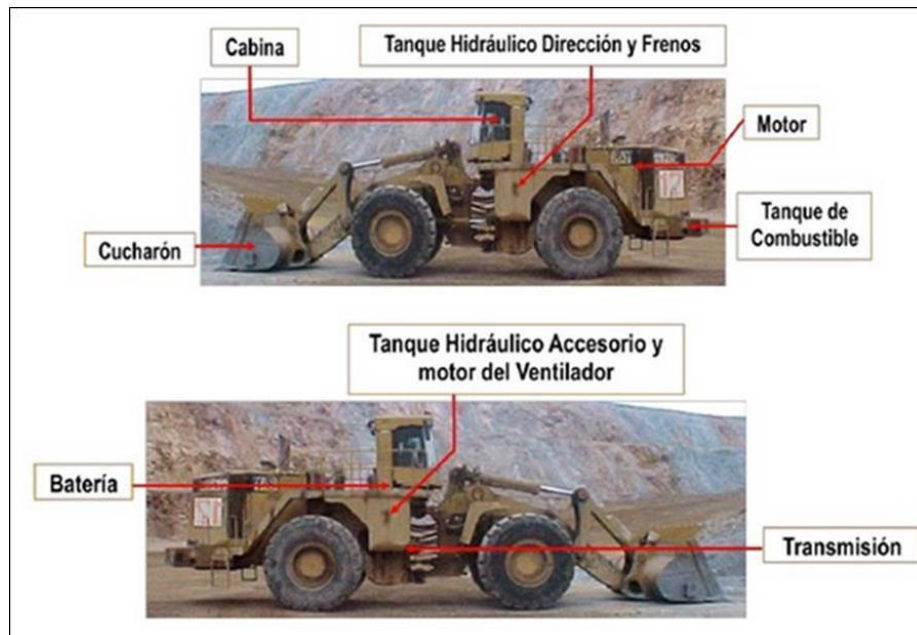


Figura 2. 16 Componentes del cargador frontal

4.6.1. Bastidor y brazos de levantamiento

Fabricados para trabajar en las condiciones más duras sin sacrificar la fortaleza. El bastidor de sección encaja y los brazos de levantamiento de acero macizo le permiten a esta máquina trabajar en cualquier terreno que pueda tener en su obra.

- a) Bastidor de sección en caja.
Absorbe las cargas de impactos y las fuerzas torsionales y soportan firmemente la línea motriz para mantener una alineación rígida de los componentes.
- b) Torrete de carga de cuatro planchas.
Resiste las tensiones de impactos y de carga y protege las tuberías y los cilindros hidráulicos.
- c) Articulación en punto central de 40°.
Permite ciclos rápidos en espacios reducidos, con excelente estabilidad y las ruedas traseras siguen la huella de las delanteras.
- d) Brazos de levantamiento de planchas macizas.
Proporcionan visibilidad y fuerza máxima – el travesaño de sección elíptica de acero fundido asegura la alineación apropiada de la perforación del pasador y reduce las cargas torsionales.
 - Twin Till Links : Montaje de inclinación
 - Solid-steel Lift Arms : Brazo de levantamiento de acero
 - Box -section Frame : Bastidor de sección en caja
 - Spread Hitch Design : Enganche extendido
 - Cast Cross Tube : Travesaño de acero fundido
 - Four-Plate Loader Tower : Torrete de carga de cuatro planchas
 - Box-section Tower : Torrete de sección en caja

36

Enganche extendido. Reduce los esfuerzos torsionales en los pasadores y cojinetes de rodillos del enganche, aumenta la vida útil y permite excelente acceso de servicio.

Mecanismo de carga de barra en Z. Superior diseño que permite máxima productividad.

Gran fuerza de desprendimiento. Permite que la máquina penetre hasta el pie del bancal.

Gran ángulo de inclinación hacia atrás. Retiene mejor el material y se reducen los derrames.

Velocidad de descarga controlada. Reduce la velocidad de descarga para proteger el mecanismo de carga y el camión.

Menos punto de pivote y menos piezas móviles. Menores costos de servicio y de mantenimiento.

e) Cucharones

La amplia variedad de cucharones le ayuda a adaptar su máquina a las necesidades del trabajo.

Durable construcción con costillas exteriores de refuerzo - provee resistencia estructural rígida, tipo sección en caja, para reducir el torcimiento y agrietamiento de los protectores laterales y del piso, ofreciendo así vida útil más larga con mínima necesidad de reconstrucción.

Chapa de acero gruesa, de alta resistencia a la tensión - diseñada específicamente para proporcionar durabilidad sin sacrificar el rendimiento en la carga.

Planchas de derrame o protectores de rocas - tienen sólidos travesaños de acero endurecido que les dan más fortaleza y rigidez, protegen los cilindros de inclinación y de levantamiento y ayudan a retener cargas voluminosas.

Superficies de desgaste de cambio rápido - empernadas en lugar de soldadas con dientes resistentes a la abrasión.

Segmentos empernables de cambio fácil - extienden la vida la vida de la cuchilla de base al limitar el desgaste del cucharón y crear un fondo más liso, lo cual deja menos material en el suelo y prolonga la duración de los neumáticos.

37



FIGURA 2. 17 CUCHARON

- Replaceable Heel Plates : Planchas de talón reemplazables
- Double – strap Adapters : Adaptadores de doble plancha
- Integral Rock Guard : Protector de rocas integral
- Pin-on Side Bar : Barra lateral empernable
- Shell-tine Construction : Costillas de refuerzo exteriores
- Bolt-on Segments : Segmentos empernables

Adaptadores de doble plancha - soldados arriba y debajo de la cuchilla de base, aumentan la duración asegurando excelente retención en condiciones de altos impactos.

Cucharón de uso general con cuchilla de tipo pala para mineral de hierro. También hay disponibles un cucharón de uso general para carbón.

Todos los pasadores del cucharón están sellados y sólo requieren lubricación cada 2000 horas de trabajo. Hay puestos de lubricación a distancia para todos los demás puntos de lubricación del varillaje.

f) Cabina del operador.

Figura 29. Compartimento del operador.

- Single-lever Transmission Control : Control de transmisión una palanca
- Adjustable Steering Column : Columna dirección ajustables
- Electronic Monitoring System : Monitoreo electrónico
- Lock Clutch Switch : Interruptor embrague del acople
- Neutralizer Pedal : Pedal neutralizador
- Brake Pedal : Pedal de freno
- Governor Control : Control de regulador
- Bucket Controls : Controles del cucharón

El asiento está alto en la cabina, permitiendo amplia visibilidad en todo el contorno, para máxima productividad y comodidad del operador.

Columna de dirección ajustable en ocho posiciones, lo que ofrece máxima productividad para cualquier tamaño de operador.

El asiento con suspensión también es ajustable, ofreciendo así suspensión variable según el peso del operador y la posición más cómoda.

Dirección de flujo amplificado que permite control ágil y preciso de la dirección, tipo automóvil.

El ubicador del cucharón, de estado sólido, establece de antemano la altura de descarga y el ángulo de excavación.

Más que sólo una protección contra la intemperie, el compartimento del operador es un factor integral en la determinación de cuánto se puede producir... y con cuánta comodidad.

Cabina y techo ROPS insonorizados - la cabina tiene montaje elástico para reducir el ruido y las vibraciones.

5. CAPÍTULO III: GENERALIDADES DE LOS EQUIPOS DE CARGUIO Y TRANSPORTE

5.1. Objetivo específico

Conocer los equipos de carguío y transporte

5.2. Objetivos de los equipos de carguío y transporte.

Las operaciones de transporte de mineral y estéril en la mina, se realizan por medio de camiones de extracción, los cuales se desplazan por los circuitos de transporte, desde los puntos de carguío hacia los puntos de vaciado y viceversa.

Antes el operador debe conocer algunos conceptos relacionados con la operación:

- **Acularar:** Retroceder un equipo para tomar posición de carguío o estacionarse.
- **Aislado:** Todo equipo que por alguna razón queda detenido en forma imprevista.
- **Bajada:** Tramo de caminos con pendientes negativas.
- **Subida:** Tramos de caminos con pendientes positivas.
- **Rampas:** Caminos con pendientes.
- **Botadero:** Sector destinado al depósito de materiales estériles.
- **Caja:** Pared de banco.
- **Cresta:** Parte superior de un banco o botadero.
- **Berma:** Acopio de material.
- **Taludes:** El derrame producido entre la cresta del banco o botadero, con la pata de banco.
- **Pata de banco:** Parte inferior de un banco o botadero. Definida por el ángulo entre el talud y una superficie que lo corta.
- **Pretil, camellón o parapeto:** Berma de tierra.

40

Los operadores de camión, deben saber que las áreas de la mina son cambiantes en el tiempo y que de igual manera, la señalización del tránsito es dinámica, por lo que debe mantenerse permanentemente atento a estas modificaciones, para estar atentos a realizar algunas maniobras, tales como: virajes repentinos, detenciones imprevistas por emergencias, etc.

5.3. Condiciones de los caminos.

Todos los caminos que se construyan en la mina deben cumplir las siguientes especificaciones:

- Ancho mínimo : 35 m (incluyendo berma de contención)
- Pendiente máxima : 10 %
- Radio de curvatura : 80 m
- Berma de contención : Altura mínima a $\frac{1}{2}$ neumático (1,50 m)
- Orejas de bifurcación : Igual a 1.5 ancho de camión (11 m)
- Drenaje : Pendientes de inclinación en los extremos de la sección transversal del camino no mayor a 1%.
- Señalización : Toda la señalización de los caminos de la mina debe cumplir con los estándares respectivos.

41

5.4. Función del camión de extracción.

Trasladar el material tronado desde la mina hacia el exterior (chancador, stock-pile, botadero).

La cantidad de material que se traslada en un determinado periodo, dependerá de la distancia, velocidad, características del equipo, disponibilidad mecánica, utilización efectiva, etc.

5.5. Sistema de despacho de camiones.

El despacho de camiones, conocido como **DISPATCH**, es un sistema computarizado que controla el despacho de todos los camiones de carguío en una mina a rajo abierto.

Probado en el campo tecnológico, continuamente maximiza la productividad minera con un esfuerzo mínimo de parte de operaciones. El sistema provee reportes con información detallada de la operación y la contabilidad de tiempos que previamente no estaban disponibles.

El sistema de despacho maximiza la producción de la mina con el equipo disponible o como alternativa, permite lograr una razón de producción deseada con el mínimo de equipo.

El despacho de camiones para lograr cualquiera de estos objetivos recién mencionados, en una operación dinámica, requiere el continuo monitoreo de las rutas seleccionadas, el estado de los camiones, y el estado de las palas para determinar la asignación óptima de camiones.

La primera consideración del sistema de despacho es optimizar la selección de la ruta de los camiones. Rutas óptimas, basadas en razones de carguío de palas y tiempos de viaje de camiones son determinadas usando programación lineal.

Una vez que la selección de la ruta y el flujo de material son optimizada, el sistema de despacho asigna los camiones para minimizar la espera de los camiones en las palas y minimizar el tiempo de las palas sin tener a que cargar.

5.6. GPS (Sistema de posicionamiento global)

La interface del **GPS** está diseñada para ubicar el equipo en la operación minera automáticamente. El sistema produce la interface entre una unidad receptora de posicionamiento global y el computador en la sala de despacho.

Este sistema cuando está ubicado en palas provee información actualizada para cada carga. Cuando está en camiones, provee una funcionalidad de emisor de ondas de para ser ubicado.

6. CAPÍTULO IV: GENERALIDADES DE LOS EQUIPOS DE APOYO

6.1. Objetivo específico

Conocer los equipos de apoyo

6.2. Objetivos de los equipos de apoyo

Construcción y mantención de vías de transporte.

Se define como vías de transporte a las áreas de circulación de camiones de extracción, ya sea en las plataformas de carguío, caminos de la mina, área de acceso a estaciones de chancado, botaderos y stock de minerales, talleres de mantención mina y estaciones de servicio.

La mantención de las vías de transporte, tiene como objetivo mejorar el rendimiento de la flota de camiones, obtener mayor duración de los neumáticos, suspensiones y estructura de todos los equipos y vehículos usuarios de las vías.

6.3. Condiciones de mantención de las vías de transporte

Pista de rodado, sin baches ni resaltos

Libre de hielo, nieve, barro, rocas derrames de material y polvo en suspensión

Superficies de rodado niveladas y compactadas

Los siguientes equipos son utilizados en la construcción y mantención de caminos en la mina.

- Tractor montado sobre neumáticos
- Tractor montado sobre orugas
- Motoniveladora
- Camión regador.

6.4. Función de cada uno de ellos

- Tractor montado sobre neumáticos (Wheelldozer)
 - Realizar las terminaciones de sellos de caminos y mantener operacionales las vías mineras.
 - Mantener las vías de transporte limpia de rocas y derrame, rellenar hoyos y baches, nivelar los terrenos, mantener bermas de seguridad y efectuar obras de drenaje de aguas.

- Trabajar en caminos con tránsito de camiones de extracción, minimizar las demoras por detención de estos, seccionando la tarea si las condiciones así lo requieren.
- Arrastre de materiales.

- Tractor montado sobre orugas (Bulldozer)
 - Sello de caminos, verificando en todo momento los derrames en la ladera. Realizar las pasadas necesarias hasta alcanzar las marcas topográficas, esto es, hasta obtener el ancho y la pendiente del camino final.
 - Arrastrar el material, sin sobrepasar la capacidad límite de la pala.
 - Mantener plataformas de trabajo estables, manteniendo distancias prudentes a bordes de talud y no trabajando sobre botones.
 - Desgarrar el terreno, con el Ripper.
 - Construir caminos en pendientes (rampas)

- Motoniveladora
 - Efectuar trabajos de confirmación y nivelados de superficie, especialmente el perfilado y mantención de las huellas.
 - Perfilar y/o escarificar.
 - Mantener la pendiente de la sección transversal para la canalización de las aguas lluvia, en los caminos principales.
 - Limpieza de bordes de camino.
 - En períodos de lluvia o nieve, trabajos en tramos de mayor tránsito vehicular y que presenten problemas, debido a pendientes pronunciadas, curvas, etc.

- Camión regador (Aljibe)
 - Regar en las vías principales y área de chancadores en forma continua con 4 regaderas, evitando formar pozas.
 - Regar en botaderos, con las cuatro regaderas traseras y la delantera del codo izquierdo, manteniendo distancia de aproximadamente 10 metros de la berma de seguridad y a una velocidad de desplazamiento no mayor a 30 KPH.
 - Regar la zona de carguío, manteniéndose fuera del radio de giro del equipo de carguío.
 - En rampas estrechas utilizará regadío intermitente con dos regaderas, dejando zonas secas entre sector.

7. CAPITULO V: EQUIPOS PLANTA

7.1. Introducción

Para el tratamiento industrial de rocas y minerales, es necesario practicar una preparación de los mismos y dentro de esa preparación normalmente se requiere efectuar una reducción de tamaño.

Las operaciones mediante las que se efectúan dichas reducciones de tamaño por medios físicos se denominan trituración y/o molienda. Este tipo de reducción de tamaño pasa por el siguiente flujo de trituración como se muestra en la figura 4.1.

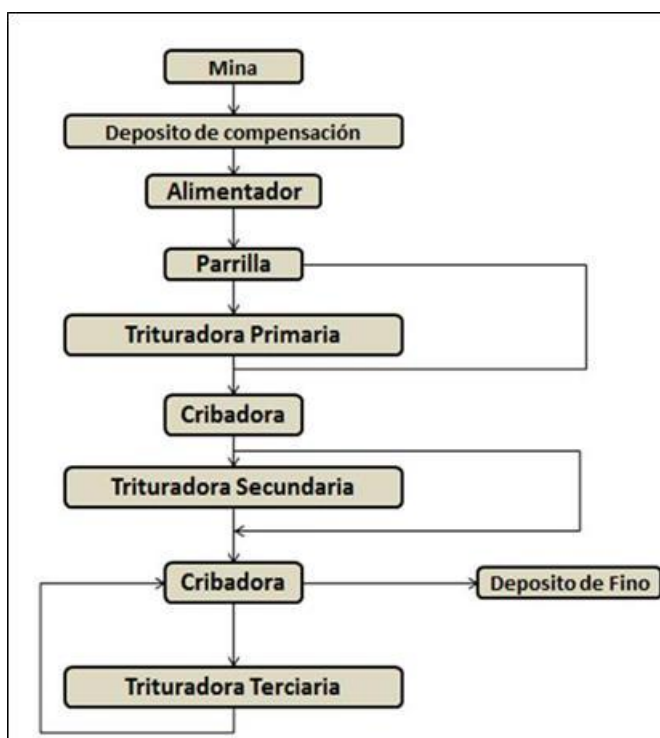


FIGURA 4.1 VÍAS DE LA OBTENCIÓN DEL COBRE.

7.2. Equipos de Trituración

7.2.1. Trituradoras Primarias

Los tipos, tamaños y número de trituradores empleados en un sistema completo de reducción varían con factores tales como: el volumen de mineral que debe ser procesado, tamaño de la mina, dureza del mineral y de su roca soporte y tamaño requerido para el producto final.

Las trituradoras primarias son máquinas de trabajo pesado, usadas para reducir la mena como sale de la mina hasta un tamaño apropiado para el transporte y para la alimentación de las trituradoras. Estas generalmente son operadas en circuito abierto con o sin cribas limpiadoras (parrillas). Hay dos tipos principales de trituradoras primarias en operaciones metalíferas:

- Trituradoras de Mandibula.
- Trituradoras Giratorias.

En general, la selección del tipo y del tamaño correcto de un chancador (primario, secundario o terciario) es de vital importancia, ya que son equipos de alto costo, tanto a lo que respecta a su valor propio como el de instalación.

Para la elección de un chancador en general, se debe considerar a lo menos los siguientes factores:

- Características del mineral.
- Capacidad requerida.
- Calidad del producto.
- Tipo y tamaño de la mina.
- Método de explotación de la mina.
- Alimentación del chancador.

46

El primer factor considera las características de dureza, abrasividad y forma del material alimentado.

Los factores 2 y 3 determinan la capacidad nominal que deberá tener el chancador para suplir los requerimientos de la planta.

El resto de los factores influyen sobre el tamaño del equipo, para que sea capaz de aceptar el tamaño máximo del material que es enviado desde la mina.

La trituración primaria debe ser capaz de admitir el bloque máximo que pueda salir de la mina de acuerdo al método de explotación.

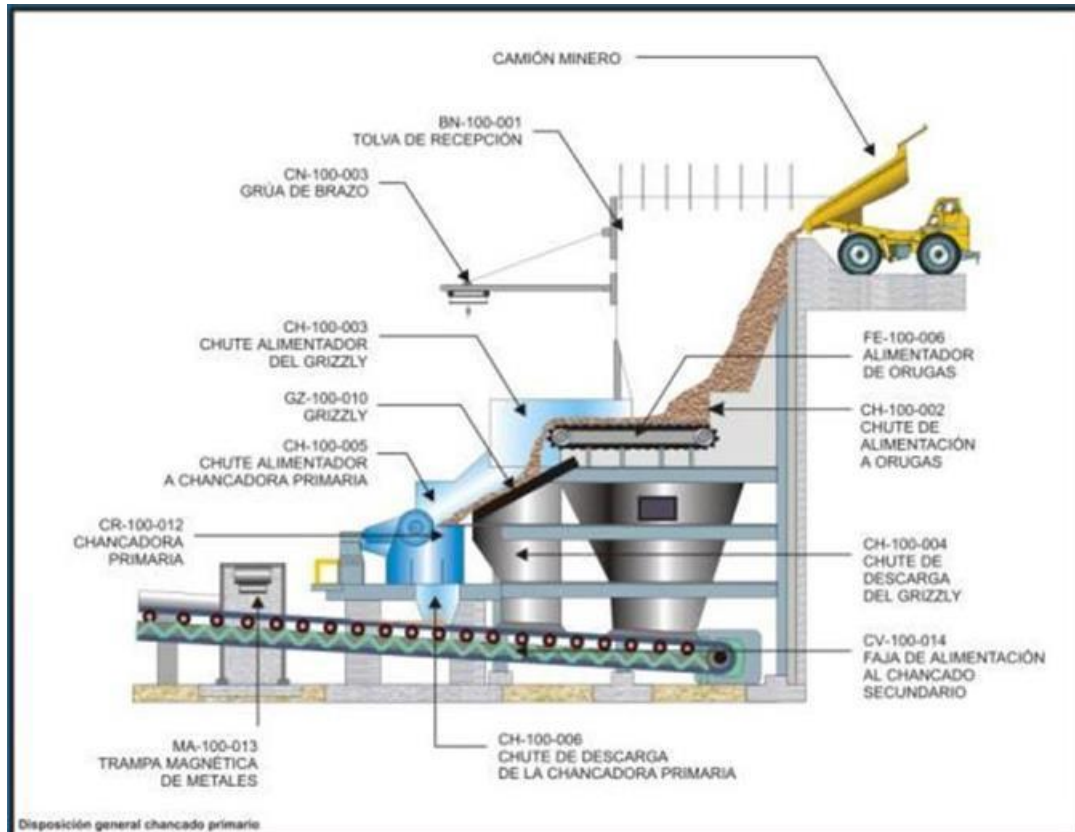


FIGURA 5. 1CHANCADOR PRIMARIO

7.3. Chancadores Giratorios

Se utilizan principalmente en chancado primario, en Plantas de superficie, y poco frecuente Chancadores Giratorios

Se utilizan principalmente en chancado primario, en Plantas de superficie, y poco frecuente en operación subterránea.

Consiste esencialmente en un eje central largo, con un elemento de molienda de acero cónico, cuya cabeza está montada en una excéntrica. Está suspendido desde una araña, y debido a su rotación por la excéntrica (entre 85 y 150 rpm) recorre un camino cónico dentro de la cámara de molienda fija, o carcasa (figura 5.2 y 5.3).

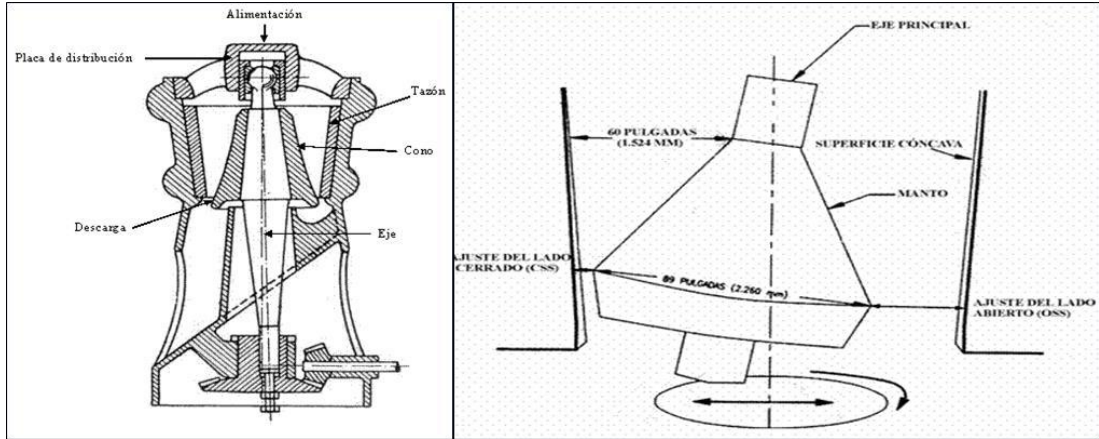


FIGURA 5. 2 COMPONENTES DE LOS CHANCADORES GIRATORIOS.

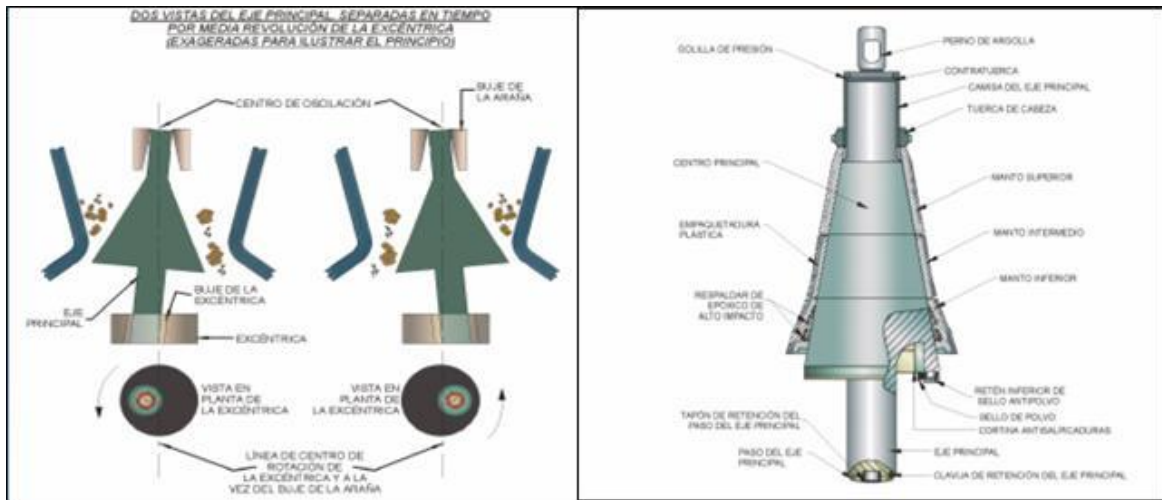


FIGURA 5. 3 CARACTERÍSTICA Y COMPONENTE DE UN CHANCADOR GIRATORIO.

7.3.1. Descripción del Proceso

El mineral proveniente de la mina se descarga en la boca de alimentación del Chancador primario. La boca de alimentación actúa como un bin o una tolva de almacenamiento de corto plazo, proporcionando una capacidad de almacenamiento extra cuando los camiones de la mina no pueden descargar mineral proveniente de la mina a la misma capacidad que el Chancador. Esta capacidad extra es limitada ya que la boca de alimentación no está diseñada para acomodar grandes fluctuaciones en el tonelaje de entrega de mineral. La boca de alimentación se localiza sobre el Chancador para que el mineral caiga dentro del Chancador.

El Chancador opera en circuito abierto (es decir, sin ninguna clasificación ni reciclaje del mineral sobre tamaño), usando un tamaño final buscado en el lado abierto (OSS) de 203 mm. El mineral chancado grueso cae en el buzón de descarga del Chancador primario, localizado debajo del Chancador. La capacidad de este buzón del Chancador primario es equivalente a aproximadamente dos cargas de camión. El mineral es luego retirado del buzón mediante el alimentador de descarga del Chancador primario. El alimentador descarga sobre la primera correa transportadora del sistema de transporte dentro del rajo.

Este sistema, para transportar el mineral chancado a la superficie de la mina desde el Chancador primario, incluye una correa que deposita el mineral en un stock pile.

Como en las chancadoras de mandíbulas, el máximo movimiento de la cabeza ocurre cerca de la descarga. El eje central puede volver a su eje en la excéntrica y así, durante el chancado el material se comprime entre la cabeza rotatoria y las paredes de la carcaza, de modo que la abrasión en la dirección horizontal es despreciable.

49

En cualquier corte transversal hay dos conjuntos de mandíbulas abriéndose y cerrándose como chancadoras de mandíbulas. Así, la chancadora giratoria se puede considerar como un número infinitamente grande de chancadoras de mandíbulas, cada una de ancho infinitamente pequeño.

Puesto que el chancador giratorio chanca en todo el ciclo, tiene mucho más capacidad que las de mandíbulas de la misma abertura, de modo que se utilizan generalmente en plantas con capacidad sobre 900 tph.

Las aberturas de alimentación pueden llegar hasta 1.830 mm. (72") y pueden chancar material con tamaño máximo de 1.370 mm. (54"), a la capacidad de 5000 tph con un setting de 200 mm. El consumo de energía puede llegar a ser de 750 KWh.

Comúnmente estos chancadores reciben material directamente desde el camión.

Se puede, además, incorporar una parrilla para evitar el uso de un chancador demasiado grande y así disminuir el costo de capital de la planta, y además posibles daños en el chancador por la caída de material demasiado grande y pesado.

La cabeza puede ser construida de acero forjado y protegido por un manto de acero al manganeso.

7.3.2. Componentes del sistema de Chancado

La estación semi-transportable de chancado primario utiliza un Chancador giratorio. Fuller de 1.524 por 2.870 milímetros (60 por 113 pulgadas). La medida 1.524 milímetros es la abertura de alimentación en su punto más ancho, y la de 2.870 milímetros es el diámetro del manto en su base. En una instalación típica, el 80 por ciento del mineral proveniente de la mina alimentado al Chancador debe ser más pequeño que los dos-tercios del tamaño de la abertura de alimentación, en este caso, 1.016 milímetros.

Esta distribución del tamaño en la alimentación reduce la probabilidad de bloquear la entrada del Chancador y permite que la cámara de chancado se llene bien y que la presión sobre el rodamiento del motor del chancador se distribuya uniformemente. Para la alimentación proveniente de la mina esperada, el Chancador proporcionará una producción de 8.800 toneladas húmedas por hora basada en un programa de operación de 24 horas por día y 365 días por año. El Chancador opera en circuito abierto (es decir, sin clasificación ni reciclaje del material sobre tamaño). El producto del Chancador está diseñado para ser un 80 por ciento menor que 203 milímetros.

El cuerpo del Chancador consiste en un marco de acero fundido que incluye el mecanismo motriz en su parte más baja. El mecanismo motriz se compone de la excéntrica (que proporciona el movimiento de oscilación o giratorio al eje principal y al manto), el engranaje excéntrico, y el conjunto piñón eje (que incluye los engranajes del piñón y su eje). La parte superior del Chancador forma una superficie estacionaria de chancado, consistente en una cámara en forma de cono compuesta de las secciones casco superior y casco inferior. La cámara tiene revestimientos resistentes al desgaste llamados **cóncavas**.

El conjunto eje principal, con su manto, es la pieza principal en el movimiento del Chancador. El manto es un revestimiento de acero fundido - manganeso sobre el eje principal. Varias capas pueden constituir el manto completo. Cuando el manto se desgasta, el conjunto eje principal se saca y se reemplaza con otro eje principal reparado.

El eje principal está compuesto de dos piezas. Esto permite desmontar el eje en sus componentes y sólo la parte afectada se envía para la reparación. En la reparación, las capas del manto se reemplazan. Un segundo eje principal, con su manto, se proporciona como reemplazo para que el tiempo de parada por el cambio de manto sea el mínimo. El reemplazo del revestimiento cóncavo se lleva a cabo en su posición, con el eje principal afuera. Los revestimientos cóncavos se reemplazan como un juego completo.

En la parte superior del Chancador está el sistema de apoyo para el eje principal, llamado *el conjunto araña*. La araña incorpora un muñón torneado que posiciona (refrena lateralmente) el extremo superior del eje principal. La araña es una caja de acero forjado con un cubo en el centro y dos brazos totalmente fundidos.

- Chancador Giratorio:
 - Gran “capacidad” por unidad de inversión.
 - Descarga periférica que elimina la formación de productos alargados y da un material más granular.
 - La forma de la boca es favorable para material alargado. Este punto como el anterior le dan una ventaja sobre el chancador de mandíbula para el tratamiento de materiales con tendencia a dar un producto alargado.
 - La gran capacidad de la boca minimiza el bloqueo de la máquina.
 - La simetría de la máquina permite que se alimente por ambos lados.
 - El efecto de volante es menor y por lo tanto parte y se detiene más fácilmente.
 - El servicio requiere teclas más sencillos que para la chancadora de mandíbula. Se necesitan sólo dos direcciones de movimiento, vertical y lateral. Para mandíbula, vertical y dos direcciones horizontales.
 - La gran velocidad de esta máquina permite el uso de motores de mayor revolución y menores reducciones.
 - La lubricación es más sencilla y mejor que en las de mandíbula.
 - El costo de fundaciones es generalmente menor que para los chancadoras de mandíbula.
 - Desde el punto de vista de seguridad es mejor el giratorio.
 - Razón de reducción más alta, $5 < Rr < 7$.

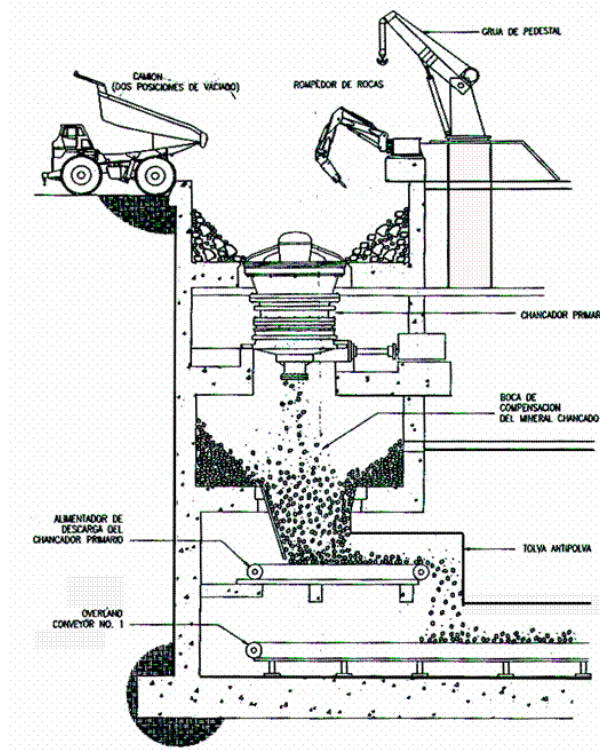


FIGURA 5. 4 CHANCADOR GIRATORIO

7.3.3. Chancado Secundario

El chancado secundario incluye todas las operaciones para aprovechar el producto del chancador primario desde el almacenamiento de la mena hasta la disposición del producto final del chancador el cual usualmente está entre 0,5 y 2 cm. de diámetro. El producto del chancador primario en la mayor parte de las menas metalíferas puede ser chancado y harneado satisfactoriamente y la planta secundaria generalmente consiste de una o dos etapas de reducción de tamaño con chancadores y harneros apropiados. Por otra parte, pueden ser usados más de dos etapas de reducción de tamaño del chancado secundario si la mena es extra dura o en casos especiales donde es importante minimizar la producción de finos.

Un diagrama de flujo básico para una planta de chancado se muestra en la figura 5.5.

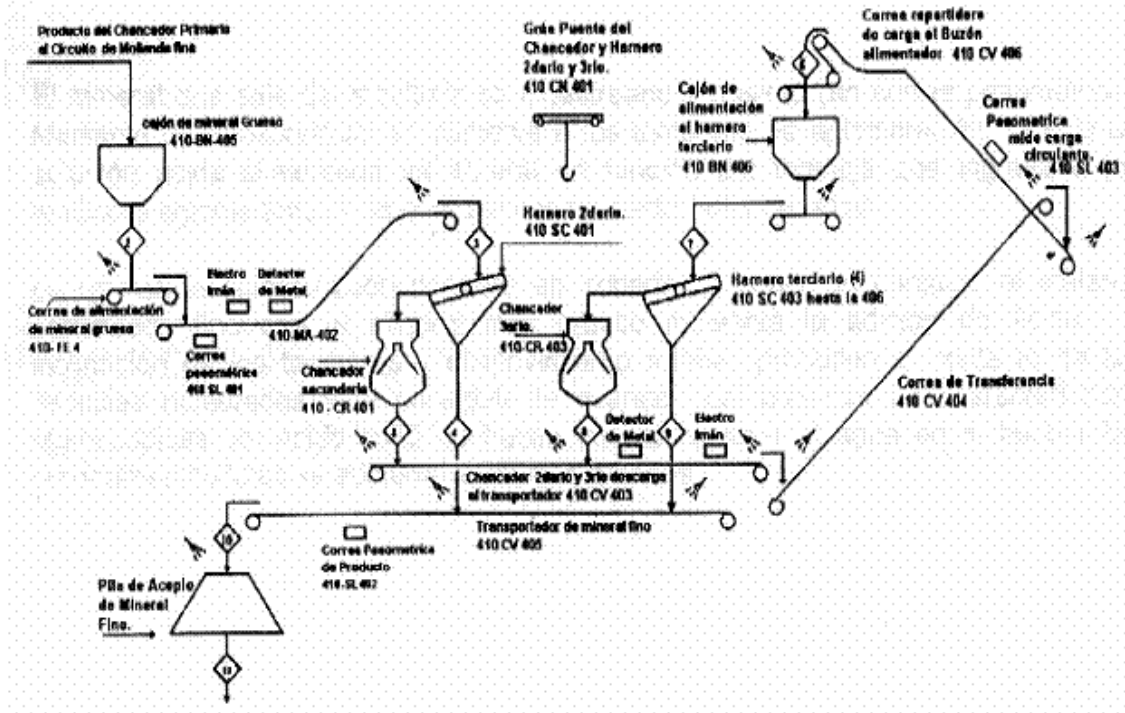


FIGURA 5. 5 DIAGRAMA BÁSICO DE UNA PLANTA DE REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE MINERALES OXIDADOS.

Algunas veces los harneros vibratorios son colocados delante de los chancadores secundarios para remover el material fino o escalpar (limpiar) la alimentación y aumentar así la capacidad de la planta de chancado secundario. El material fino tiende a llenar los huecos entre las partículas grandes en la cámara de trituración y puede ahogar el chancador, causando daño, porque la masa empacada de roca es incapaz de aumentar en volumen mientras es chancada.

La segunda etapa de conminución se denomina trituración secundaria. Como la razón de reducción límite en la trituración primaria no sube de 6:1, es necesario realizar una etapa de trituración secundaria y muchas veces otra trituración terciaria para obtener un producto como alimentación al molino de 10 mm a 3/8”.

El material que reciben estos equipos, es normalmente menor a 15 cm. de diámetro, por lo que se trata de equipos mucho más livianos que los anteriores. También el material es más fácil de manejar y transportarlo, y no se requiere de grandes sistemas para alimentarlo a los chancadores.

El propósito de esta etapa es preparar el material para la molienda y en aquellos casos en que la reducción de tamaño se realiza de manera más efectiva en chancado, se puede incorporar un chancado terciario antes de entrar a la molienda.

La alimentación a la trituración secundaria es del mismo orden de tamaño que los productos finos de la mina, por lo tanto, podría pensarse que una máquina primaria pequeña podría tratarlo. Esto es verdad en cuanto a tamaño, pero no en cuanto a capacidad. Se ha constatado que el número de chancadores primarios pequeños necesarios para admitir la descarga de un chancador giratoria de 60" con una posición abierta de 10", se necesitarían 11 chancadores giratorios más pequeños. En este caso la distribución de la alimentación sería más costosa que la trituración misma.

La limitación en capacidad se debe a que en los chancadores giratorios la garganta es pequeña. El problema se ha resuelto con los chancadores de cono, en los que se aumentó el diámetro de la descarga y por lo tanto el área de la garganta. Tres chancadores de cono pueden realizar el trabajo de 11 chancadores giratorios.

El chancado terciario se realiza en equipos del mismo diseño que el chancado secundario y también en seco.

Los principales equipos utilizados en esta etapa son los chancadores de cono.

54

7.3.4. Trituradoras Secundarias

Las trituradoras secundarias son mucho más ligeras que las máquinas primarias de trabajo pesado. Puesto que toman como alimentación la mena ya triturada en las trituradoras primarias, el tamaño máximo de alimentación normalmente será menor de 15 cm de diámetro y son más fáciles de manejar debido a que la mayor parte de los constituyentes dañinos en la mena, tales como restos de metal, madera, arcilla y lamas ya se extrajeron.

Las trituradoras secundarias también operan con alimentación seca y su propósito es reducir la mena hasta un tamaño apropiado para la molienda.

Las trituradoras terciarias son del mismo diseño que las secundarias, excepto porque tienen una descarga más reducida.

Las trituradoras de cono se ocupan de la mayor parte de la trituración secundaria de las menas metalíferas, aunque para algunas aplicaciones se usan los molinos de barras o rodillos trituradores.

a) Chancadores de Cono

Es similar a los chancadores giratorios, la diferencia fundamental está en que el eje es más corto, y no está suspendido, sino que está montado sobre rodamientos bajo la cabeza giratoria o cono.

Debido a que no se requiere una gran abertura se puede tener una mayor área de chancado hacia la descarga, con un mayor ángulo del cono que en las giratorias, manteniendo el mismo ángulo entre las piezas chancadoras.

Un chancador de cono se individualiza por el diámetro del cono. Este varía desde 559 mm. (22") hasta 3,1 m. (122") con capacidad hasta 1100 tph y con un setting de descarga de 19 mm. (3.4").

Estos chancadores operan a una velocidad mucho mayor que las giratorias. Esto permite que el material se chancue más rápidamente debido al mejor flujo del material por la gran abertura que se crea al moverse el cono.

Estos equipos pueden tener una razón de reducción entre 3:1 hasta 7:1 y mayores con algún material particular.

55

Se construyen dos tipos, cabeza larga o estándar y de cabeza corta, la que se caracteriza por tener un cono de trituración más inclinado, disminuyendo el tamaño del producto.

Este tipo de triturador, de cabeza corta se emplea más en trituración terciaria cuando el material viene de una extracción a rajo abierto y secundaria cuando es subterráneo.

Comparando la acción de un triturador de cono con la reducción convencional de la giratoria. La cabeza del cono tiene una carrera cinco veces mayor. El material recibe una serie de golpes rápidos como martillazos en su descenso por la cámara de trituración.

La diferencia principal entre las trituradoras de cono tipo estándar y de cabeza corta, está en la forma de las cavidades de trituración y las placas distribuidoras de la alimentación.

El tipo cabeza corta tiene más inclinado el ángulo de la cabeza y una cámara de trituración más paralela que la del tipo estándar.

La razón límite de reducción RL es aproximadamente entre 3 y 5. La eficiencia o rendimiento es en condiciones de funcionamiento normal de 5 a 10 tph.

La trituradora de cono es una giratoria modificada. La diferencia fundamental es que el árbol más corto de la quebradora de cono no está suspendido, como en la giratoria. Puesto que no se necesita una gran abertura, la armadura de trituración o “tazón” se extiende o se ensancha hacia fuera, lo que permite el aumento de la mena quebrada al ofrecer un área transversal creciente hacia el extremo de descarga. Por lo tanto, la trituradora de cono es una excelente trituradora controlada. El ensanchamiento del tazón permite un ángulo de la cabeza más grande que en la trituradora giratoria, ya que conserva el mismo ángulo entre los miembros de trituración.

7.3.5. Chancado Terciario

Si la mena tiende a ser resbaladiza y dura, la etapa de chancado terciario puede ser sustituida por una molienda gruesa en molinos de barras. Normalmente estos circuitos van acompañados de las correspondientes etapas de clasificación para evitar la excesiva producción de finos y aumentar la capacidad del equipo.

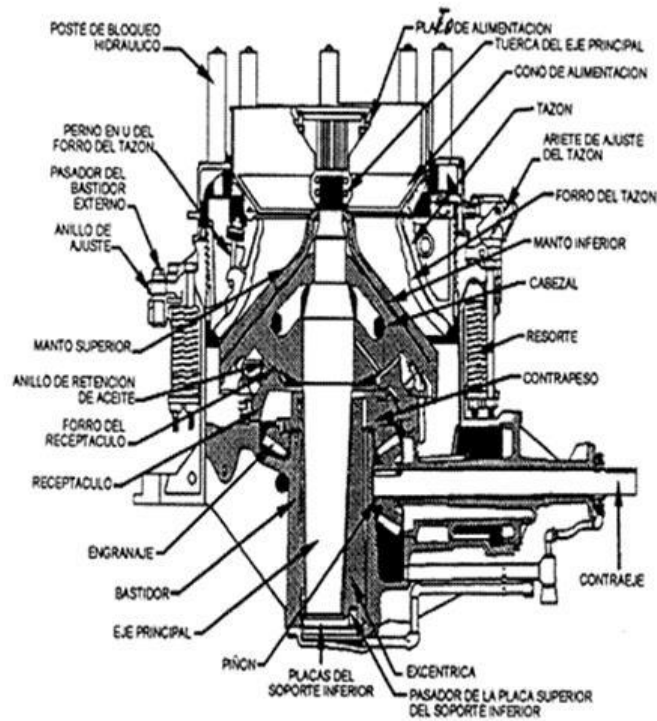


FIGURA 5. 6 COMPONENTE DE UN CHANCADOR DE CONO ESTÁNDAR

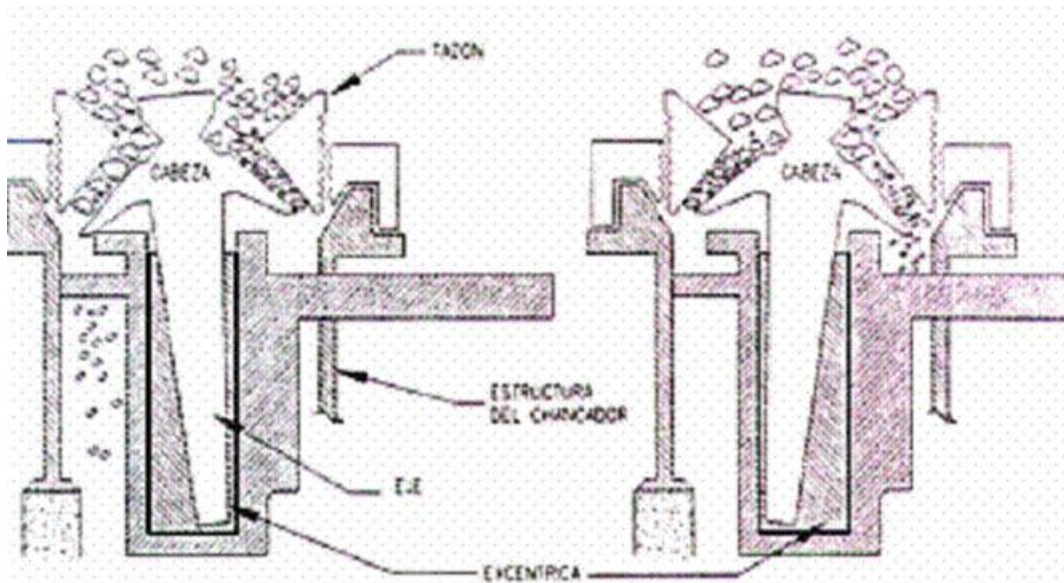


FIGURA 5. 7 MOVIMIENTO DE LA EXCÉNTRICA DEL CHANCADOR DE CONO ESTÁNDAR

7.4. Cintas transportadoras

Los sistemas de cintas transportadoras se emplean cuando los materiales deben ser desplazados en cantidades relativamente grandes entre posiciones específicas de un rutado fijo. La mayoría de estos sistemas son impulsados mecánicamente; algunos emplean la gravedad para trasladar la carga entre puntos de diferente altura. Estos sistemas tienen los siguientes atributos:

- Son generalmente mecanizados y a veces automatizados.
- Ocupan posiciones fijas, estableciendo las rutas.
- Pueden estar montados sobre el suelo o suspendidos del techo.
- Casi siempre están limitados a un flujo unidireccional de materiales.
- Generalmente mueven cargas discretas, aunque algunos están preparados para cargas voluminosas o continuas.
- Pueden emplearse sólo para transporte o para transporte más almacenamiento automático de elementos.

Una característica común a las cintas transportadoras es que el mecanismo de avance está construido sobre el mismo camino de la cinta. Los elementos transportadores individuales (si se usan carritos u otros receptáculos) no son impulsados individualmente.

58



FIGURA 5. 8 CORREAS TRANSPORTADORAS

7.5. Harneros

La separación granulométrica o clasificación, se entiende como la operación de separación de partículas sólidas en fracciones homogéneas de tamaño o peso. En el harneado las partículas se separan principalmente de acuerdo con su dimensión y forma.

Representación esquemática del proceso de clasificación:

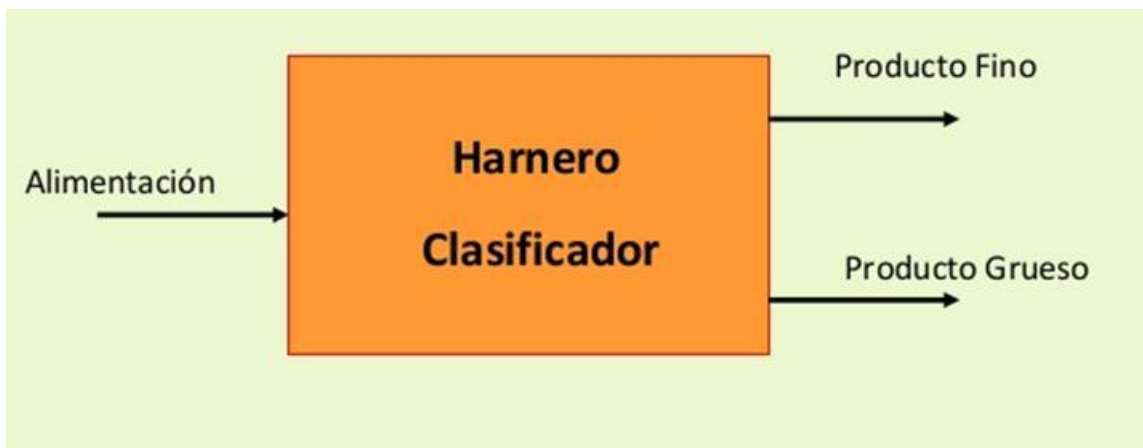


FIGURA 5. 9DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS EN UNA CLASIFICACIÓN

Generalmente los harneros son de uso amplio en la industria y su principal objetivo es manipular la distribución de tamaño de los flujos de una planta, con el fin de optimizar comportamientos operacionales.

En forma simple un harnero es superficie con una multiplicidad de aberturas de una cierta dimensión de forma que pasar sistema particulado sobre ella retendrá las partículas con tamaños mayores que la abertura, dejando pasar la de menor tamaño.

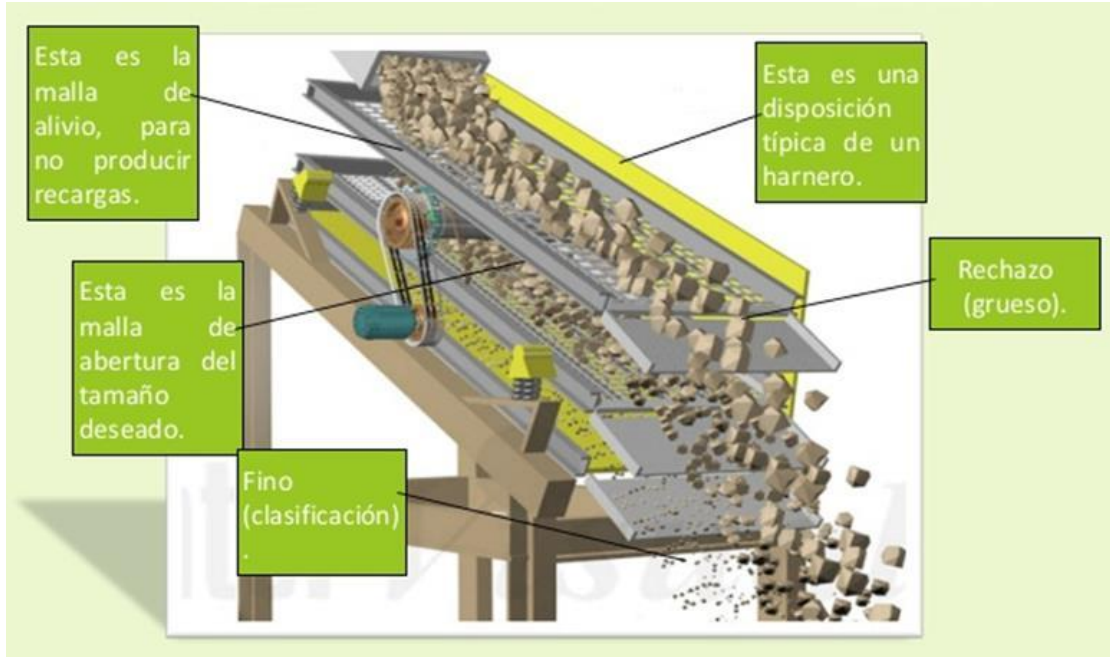


FIGURA 5. 10 OPERACIÓN DEL HARNERO

Estratificación: Separación del material según tamaño. Sin la estratificación los gruesos tapan la superficie del harnero impidiendo que se clasifiquen los finos. La estratificación está en función del espesor del lecho (lecho grueso, lecho delgado), un espesor del lecho óptimo implica una mejor estratificación.

60



FIGURA 5. 11 TIPOS DE CASOS

7.5.1. Equipos de clasificación

Dentro de los equipos de clasificación más utilizados dentro de la minería son los siguientes:

- Parrilla estacionaria
- Parrilla de rodillos
- Superficies curvadas para tamizado
- Cribas giratorias
- Cribas vibratorias
- Cribas sacudidoras

Variables que afectan la eficiencia de un harnero:

- Velocidad de alimentación
- Tipos de movimiento del harnero y pendiente
- Humedad del material que impide la estratificación del material y tiende a cegar las aberturas del harnero
- Tipo de superficie de harneado, área y forma de las aberturas
- Porcentaje del área abierta, que equivale al área neta de las aberturas dividida por el área total del harneado
- Tipo de material a tratar que corresponde a la dureza, forma de las partículas, peso específico.

61

7.6. Aspectos Generales de la obtención del cobre.

En la actualidad, la obtención del cobre desde minerales sigue principalmente dos caminos diferentes. Este depende de la naturaleza del mineral a tratar: mineral oxidado o mineral sulfurado. La Fig 5.12 esquematiza de manera global cada proceso, dependiendo de la naturaleza del mineral a tratar.

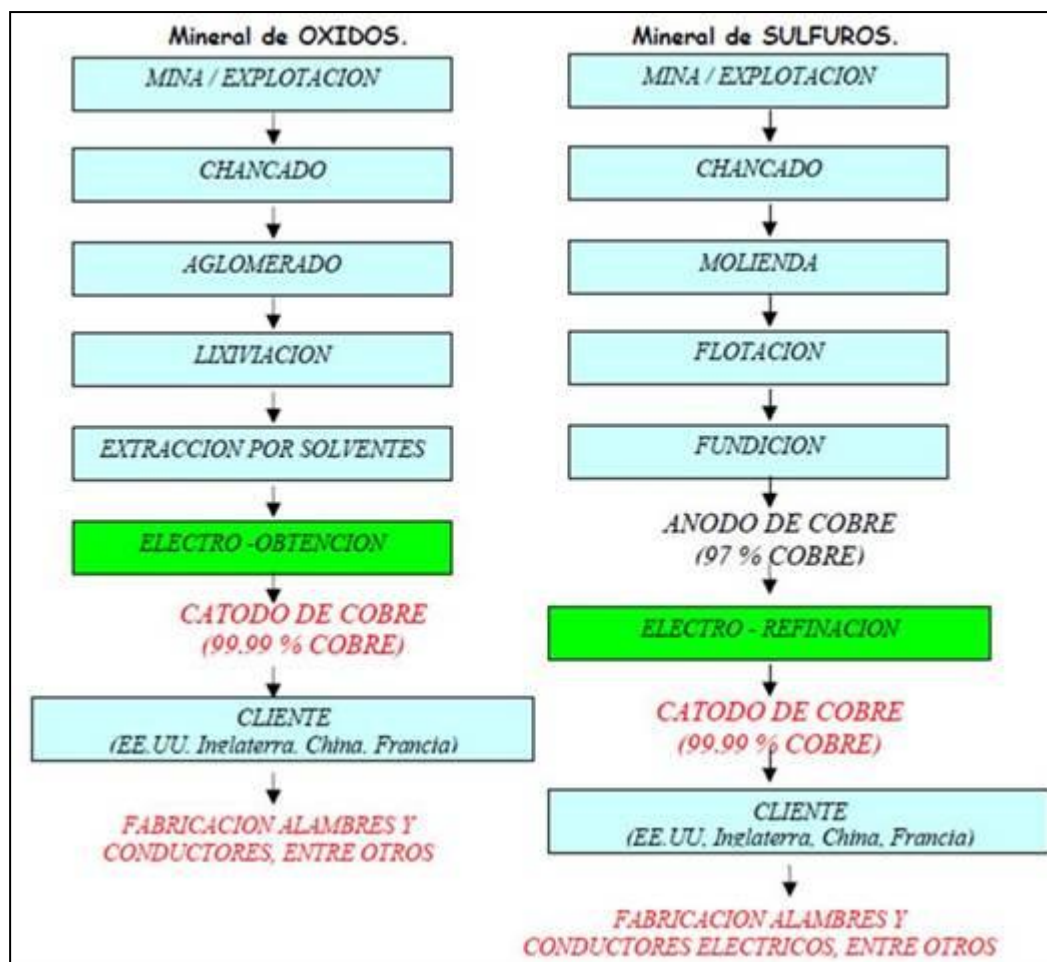


FIGURA 5. 12 CADENA DEL VALOR DEL COBRE ELECTROLÍTICO DESDE PROCESOS TRADICIONALES.

Los dos caminos anteriores pueden considerarse como los más utilizados actualmente en la obtención del cobre.

Dado que los procesos pirometalúrgicos de minerales sulfurados son económicamente más costosos por la energía que debe proveerse al proceso de molienda y fusión, más contaminante por la generación de gases tóxicos, por lo que se les exigen la incorporación de plantas de tratamiento de gases, dada la actual exigencia ambiental, se ha desarrollado una alternativa hidrometalúrgica.

Este nuevo proceso hidrometalúrgico de tratamiento de mineral sulfurado incorpora organismos celulares o bacterias, de ahí su nombre: “Proceso de

Lixiviación Bacterial: Como se puede ver en la Fig 1.13, las etapas involucradas en este proceso son muy similares a aquellas presentes en el tratamiento de óxidos.

La diferencia es que el mineral sulfurado en vez de ser lixiviado directamente con ácido, son las bacterias quienes realizan una lixiviación indirecta. Las bacterias transforman los sulfuros difícilmente lixiviables con el ácido sulfúrico diluido, en sulfatos fácilmente lixiviables con soluciones aciduladas. Además, estos microorganismos generan férrico y ácido sulfúrico a partir del hierro, agua y oxígeno presentes, los que finalmente disuelven (lixivian) el mineral ahora sulfatado. Una desventaja de este proceso es el mayor tiempo que requiere el proceso de lixiviación y de las condiciones ambientales que deben proveerse a las bacterias para su sobrevivencia y reproducción.



FIGURA 5. 13 CADENA DEL VALOR DEL COBRE ED CON TECNOLOGÍA DE LX BACTERIAL

Los tres flujos mencionados, incorporan la obtención del cobre disuelto en solución a través del uso de energía eléctrica. Sin embargo, en la electroobtención, el cobre disuelto en el electrolito es aportado por la lixiviación de mineral tratado, mientras que en la electrorrefinación, el cobre en solución es aportado por los ánodos de cobre que se disuelven.

7.7. Aglomerado

Para evitar en gran parte los problemas de finos y de segregación de las partículas de mineral, se usa la técnica de Aglomeración, técnica con la cual se estabilizan los finos. Durante el proceso de aglomeración las partículas finas del mineral se juntan y adhieren alrededor de los fragmentos más gruesos formando pellets (Bolitas) con una porosidad apropiada que permite la difusión de la solución de lixiviación hacia el interior y hacia afuera de las partículas del mineral; facilitando, al mismo tiempo, un buen escurrimiento a través de la pila y evitando la migración de partículas finas hacia las restantes etapas del proceso.

7.7.1. Aglomeración y Curado

Las etapas de aglomeración y curado, en la operación, se confunden en una sola, pero para los efectos de facilitar la descripción de cada uno se analizaran por separado.

a) Aglomeración

Podemos definir la aglomeración, como el un proceso de aumento de volumen, en el que está involucrada la unión de partículas pequeñas con partículas de tamaño mayor.

- **Curado O Tiempo De Envejecimiento**

Es el proceso por el cual el mineral aglomerado, en el cual se ha obtenido la humedad necesaria adicionando agua o líquidos de reciclaje, es dejado reposar durante un tiempo (el cual es llamado tiempo de reposo) para que se produzcan las diferentes reacciones químicas de oxidación, hidrolización, sulfatación, reacciones exotérmicas y otras que contribuyen y facilitan la lixiviación posterior de los valores metálicos que se desea extraer.

Con el proceso de aglomerado se logra lo siguiente:

- Las Partículas finas se ligan a las gruesas, formando pellets de un tamaño uniforme, de menor densidad y mayor permeabilidad.

- Reducir la probabilidad de segregación de las partículas finas durante el carguío y regadío de la pila.
- Mejorar la permeabilidad de la pila debido a la uniformidad del tamaño de las partículas.
- Mejorar la oxigenación de la pila.
- Fracturar la roca matriz, lo que permite crear vías de ataque y penetración.
- Mejorar la velocidad de extracción, reduciendo el ciclo o tiempo de lixiviación, lo que influye favorablemente, en la economía de las operaciones de la planta.

Cuando la aglomeración del mineral se efectúa en conjunto con la solución lixivante, junto con obtener una mejor velocidad de percolación, se obtiene un íntimo contacto entre la solución lixivante concentrada y el mineral; lo que generalmente permite una mayor velocidad de lixiviación y recuperación. A este procedimiento se le llama curado de mineral.

Se pueden resumir las siguientes ventajas al agregar solución lixivante al mineral antes de apilarlo:

65

Se logra una solución muy homogénea de la solución lixivante sobre toda la carga del mineral.

Se obtiene un íntimo contacto entre la solución lixivante concentrada y el mineral, permitiendo que la etapa de lixiviación termine en el menor tiempo posible.

- **Descripción Del Proceso De Curado Con Ácido**

El mineral grueso producto del chancado secundario y de la clasificación, es transportado al área de lixiviación en pilas para la obtención de PLS.

El proceso de lixiviación en pilas básicamente se ha dividido en 3 etapas:

- Curado con ácido, llevado a cabo en el tambor de curado.
- Transporte /apilamiento de mineral.
- Lixiviación en pilas.

El mineral grueso cuya fracción es mayor a 0,4 mm (1/64'') y menor a 38 mm (1 1/2'') es acondicionada para la lixiviación en pilas en el tambor de curado

La función del tambor de curado es:

- Transformar el mineral triturado en un mineral de mayor solubilidad en medio ácido.
- Disminuir el contenido de impurezas en un medio de alta acidez.
- Formar aglomerados para aumentar la permeabilidad del mineral que se apila en las pilas de lixiviación (los finos que se forman por efecto del chancado secundario se adhieren a las partículas mas grandes y formen aglomerados).

Al tambor de curado ingresa:

- Mineral con un tonelaje de mineral seco vía la faja transportadora
- Refino
- Ácido sulfúrico
- Agua de proceso en forma alternativa.

66

La correa transportadora descarga el mineral en el chute de carga que alimenta el tambor de curado.

Cuando se realiza el curado el tambor gira a una velocidad de 25% de la velocidad critica (según criterios de diseño), la acción giratoria inclinada del tambor eleva las partículas de mineral dentro del tambor y permiten que caigan y rueden unas sobre otras formando los aglomerados, el tiempo de residencia del mineral en el tambor es 60 s.

La correa transportadora cuenta con un pesómetro para controlar el peso del mineral que ingresa al tambor y así dosificar la cantidad de ácido de acuerdo al peso del mineral.

El mineral una vez curado, sale del tambor y a través de su chute de descarga, es descargado hacia la correa transportadora que transporta el aglomerado hasta el apilador.

- **En Tambor Rotatorio**

Este método se aplica cuando el material contiene gran proporción de finos (más de 15% de tamaños inferiores a 150 μm), pero al mismo tiempo debe contener también gruesos (aproximadamente un 50% de tamaños superiores a 150 μm y con distribución lo más homogénea posible hasta el tamaño máximo de la operación). Así será posible una aglomeración de finos con los gruesos. El diseño del equipo es el clásico de cualquier cilindro rotatorio y obviamente su finalidad principal, por su volumen, es aumentar el tiempo de contacto entre finos y gruesos para que se produzca la aglomeración. En los casos anteriores de aglomeración en stocks o cintas el tiempo de contacto es mínimo (segundos).

Por otro lado, al ser normalmente los tambores rotatorios de velocidad variable, pueden adaptarse a los cambios de la cabeza en proporción o pegajosidad de finos y dosificación de aglomerantes y solución.

En el caso de minerales muy arcillosos, puede presentarse un problema de adherencia y apelmazamiento en las paredes, ya que se trabaja con humedades críticas.

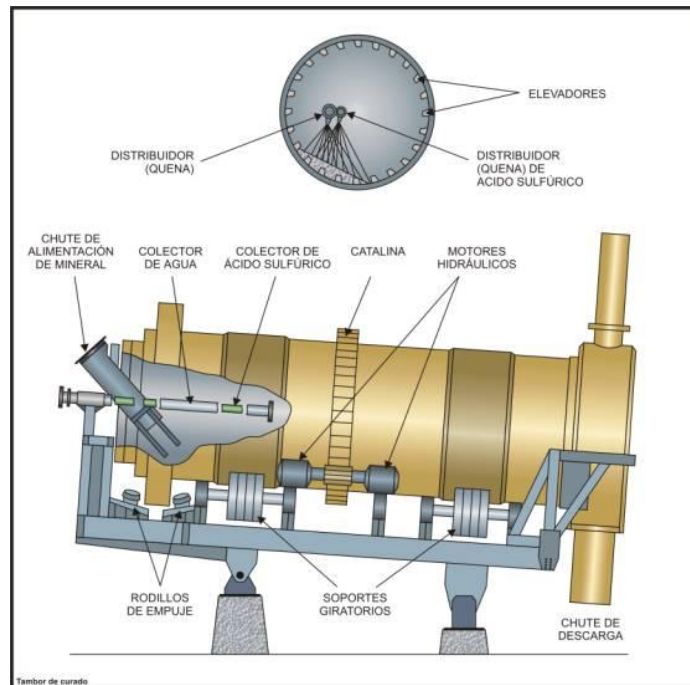


FIGURA 5. 14 UN TAMBOR DE CURADO Y SUS COMPONENTES.

8. CAPITULO VI: LIXIVIACIÓN EN PILAS

El mineral a lixiviar es chancado previamente a una granulometría que puede variar entre bajo 2 pulg. y $\frac{1}{4}$ pulg. para luego acopiar el mineral ya chancado, formando una pila de base cuadrada, sobre un piso previamente impermeabilizado. La altura de la pila puede ir desde 1.5 hasta 5 metros, dependiendo de consideraciones metalúrgicas y sistema de carguío.

El piso de la pila se prepara adecuadamente y se impermeabiliza con carpetas de poliuretano, dándole al piso una leve pendiente de alrededor de un 3 %, dirigida hacia una canaleta de recolección de soluciones. La pila se riega por aspersion o goteo desde encima, mediante sistemas de tuberías conectadas a mangueras que alimentan los goteros o aspersores.

La gran ventaja de la lixiviación en pilas radica por una parte, en el inventario de soluciones de regadío, la cual es muy inferior que en lixiviación por agitación y en bateas. Por otra parte, los costos de inversión y operación son muy inferiores respecto de los sistemas antes mencionados, pues no se requiere de infraestructura y equipos sofisticados salvo, un buen sistema de regadío y carguío de la pila.

68

8.1. Etapas en la lixiviación en pilas

Como tratamiento previo a la lixiviación misma, se puede implementar principalmente dos pretratamientos: un curado ácido para lograr un aumento en la cinética de lixiviación y un proceso de aglomeración para minimizar el efecto adverso que generan los finos en la permeabilidad del lecho.

Curado Ácido: En forma práctica, el proceso de curado ácido consiste en dosificar ácido sulfúrico concentrado o soluciones concentradas de este reactivo al mineral de cobre en una etapa previa al carguío de la pila. De esta forma, se logra la reacción anticipada de las especies oxidadas de cobre, aún las más refractarias, para transformarlas a sulfato de cobre.

Ciclo de Lixiviación: Se entenderá como ciclo Metalúrgico o de Lixiviación de una pila a módulo, el período de tiempo medido en días, o meses, en que un mineral es depositado en una cancha de lixiviación y es sometido a las siguientes operaciones.

a) Carguío de la pila

Corresponde a la etapa de acopio de mineral sobre una superficie previamente preparada, operación que normalmente se realiza por capas para evitar que las partículas gruesas se depositen en la parte inferior y las finas en la zona superior (segregación del mineral), minimizando de esta forma el riesgo de canalización de la solución lixivante, situación que genera sectores sin lixiviar y afecta negativamente el porcentaje de extracción de la especie útil.

b) Primera entrante (Refino de Extracción por solvente)

Una vez completado el proceso de carguío de la pila es necesario comenzar a irrigar la solución sobre la corona, ya sea empleando aspersores o goteros, esta primera solución de irrigación se conoce como primera entrante y normalmente corresponde a refino proveniente del proceso de extracción por solvente.

c) Recirculación

Una vez que la solución es drenado de la pila, la solución se recircula por un periodo de tiempo para procurar tiempo de contacto entre el mineral y la solución lixivante y de ser necesario se debe ajustar la cantidad de ácido de la solución para favorecer la cinética de disolución de la especie útil. El periodo de recirculación depende de las concentraciones de cobre y/o ácido libre presente en la solución drenada.

69

d) Avance (Drenajes de lixiviación)

Alcanzadas las condiciones requeridas de concentración de cobre y ácido libre, se extrae la solución concentrada. Esta extracción se obtiene por desplazamiento, tipo pistón, de la solución concentrada por otra más diluida. Generalmente las primeras soluciones salientes (PLS) van al proceso posterior (SX) por su alto contenido de cobre, mientras que las siguientes pasan a piscinas de ILS o refino desde donde reingresan a la pila.

e) Lavado

El lavado corresponde a la etapa de desimpregnación del mineral agotado, y tiene por objetivo recuperar la mayor cantidad de solución extractante y cobre disuelto. El agua de lavado, normalmente, es del orden del 30 a 35% del peso de mineral cargado.

f) Drenaje de lavado

El ripio antes de retirarlo como en el caso de una pila renovable o abandonarlo en una pila permanente, se deja en reposo para drenarlo o que percole la mayor cantidad de solución contenida, entre los límites de humedad de precolación y de humedad de impregnación del mineral ya agotado.

g) Descarga

Esta etapa se realiza solamente en las pilas renovables y consiste en retirar el ripio (mineral agotado) para reutilizar la superficie impermeable con una nueva carga de mineral.

8.2. Sistemas de Lixiviación en Pilas

Desde el punto de vista de la utilización del piso y carpeta de impermeabilización, las pilas se pueden clasificar en:

	PERMANENTE	RENOVABLE
Campo de aplicación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Minerales de baja ley. 2. Minerales de baja extracción. 3. Cinética lenta. 4. Lixiviación secundaria de ripios. 5. Amplio espacio disponible 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Minerales de alta ley. 2. Minerales de alta extracción. 3. Cinética rápida. 4. Lixiviación primaria de minerales
Características Generales	<ol style="list-style-type: none"> 6. Pilas altas para lograr una alta densidad de carga de material/m² de pila. Generalmente 5 m o más. 7. Buena resistencia mecánica de la ganga. 8. Granulometría gruesa. 9. Comúnmente diseñadas para cargas sucesivas de mineral en capas. 10. La altura queda limitada por las necesidades de oxígeno en el interior de la pila. 	<ol style="list-style-type: none"> 5. Pilas relativamente bajas para permitir una rápida carga y descarga de material. Generalmente 2m. 6. Granulometría más fina. 7. La altura queda definida por el sistema de carga y por la concentración de las soluciones a obtener.

FIGURA 6. 1 ASPECTOS COMPARATIVO DE TIPOS DE PILAS

8.3. Variables y parámetros operacionales

A continuación se describen las variables que tienen la mayor incidencia en la operación de Lixiviación en Pilas:

- La granulometría del mineral.
- Las dosificaciones de agua y ácido en el curado.
- El grado de aglomeración de los finos durante el curado y el consecuente aumento de permeabilidad.
- Altura de la pila.
- El contenido de agentes lixiviantes activos en las soluciones y su subsiguiente regeneración.
- El ritmo de regado de las soluciones.
- La duración de los ciclos de lixiviación.
- Lixiviación y reposo
- Tasa de riego, Niveles Freáticos
- Geometría malla de riego
- Humectación

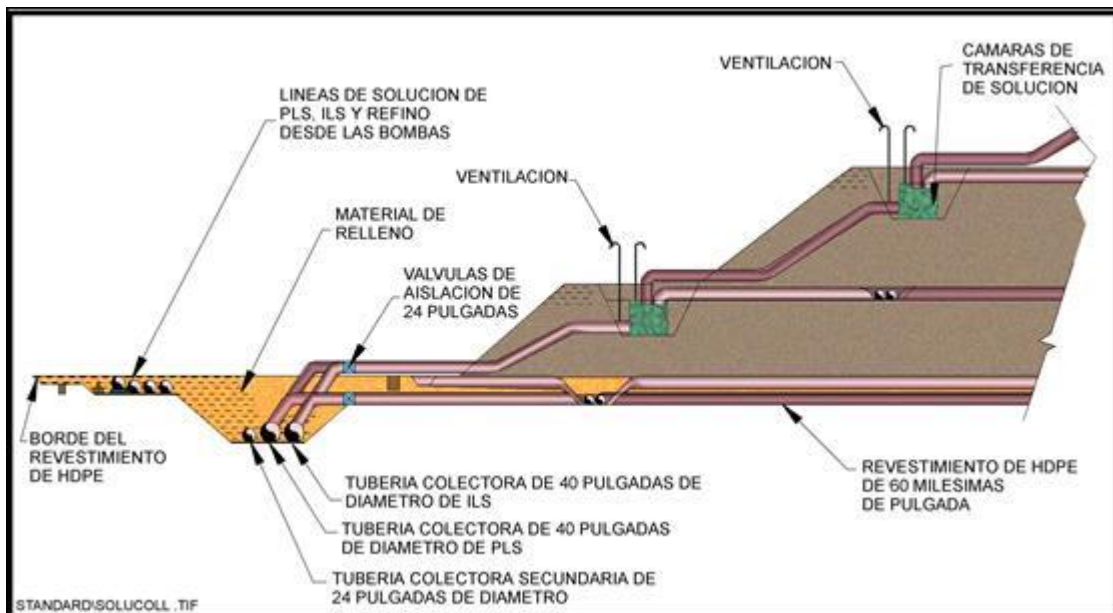


FIGURA 6. 2 SISTEMA DE RECOLECCIÓN

9. CAPITULO VII: EXTRACCIÓN POR SOLVENTES

9.1. Introducción

La extracción por solventes es un proceso que implica el paso del cobre, disuelto en forma de iones dentro de una fase acuosa hacia otra fase líquida, inmiscible con ella, conocida como fase orgánica.

Durante el contacto líquido-líquido se produce un equilibrio en el cual el cobre en solución se distribuye entre las fases acuosas y orgánicas de acuerdo a sus respectivas solubilidades.

Esta técnica se aplica en la metalurgia extractiva del cobre con fines fundamentales de concentrar, purificar y separar este metal de otros elementos o metales disueltos.

En la operación de extracción por solventes la solución rica en cobre (PLS) que viene de la lixiviación se contacta en contracorriente e íntimamente con una oxima aromática disuelta en un diluyente adecuado, para la extracción por solventes, realizándose esta operación en un equipo llamado mezclador- decantador.

En la etapa inicial de mezcla existe una transferencia de masa selectiva de cobre desde la fase acuosa (PLS) a la fase orgánica (mezcla líquida entre un extractante y un diluyente) aquí se produce la reacción de extracción del cobre. El sentido de la reacción química se puede invertir mediante el contacto de la fase orgánica con una solución acuosa con alta concentración de ácido sulfúrico. Con ese fin el cobre es descargado o retraído de la fase orgánica al mezclarse con el electrolito pobre de electroobtención. El cobre es transferido nuevamente hacia la fase acuosa obteniéndose un electrolito rico que es la alimentación para el proceso de electroobtención.

9.2. Objetivos De Extracción Por Solventes

Son dos los objetivos fundamentales de un proceso de extracción por solventes:

Concentración: Incrementar la concentración de un ión metálico valioso en solución.

Purificación: Purificar una solución de iones metálicos no valiosos e indeseables. Por ejemplo: purificar una solución de Cu^{+2} de iones Fe^{+2} , Fe^{+3} , Al^{+3} , etc.

En la extracción por solventes, el cobre (Cu^{+2}) contenido en el PLS, se transfiere a un extractante previamente diluido con un solvente orgánico. La mezcla de extractante y diluyente se denomina fase orgánica y la solución cargada de cobre PLS se denomina fase acuosa.

Las soluciones con bajo contenido de ácido permiten que el cobre se traslade de la fase acuosa hacia la *fase orgánica*, mientras que las soluciones altamente ácidas, re-extraen el cobre de la fase orgánica. (La transferencia de cobre hacia y desde la fase orgánica, es una reacción reversible que es controlada por la concentración de ácido sulfúrico en la solución acuosa).

Para comprender el proceso de SX-EW completo, visualicemos los siguientes tres circuitos interconectados:

- Circuito de solución de lixiviación.
- Circuito de purificación.
- Circuito de electroobtención.

73

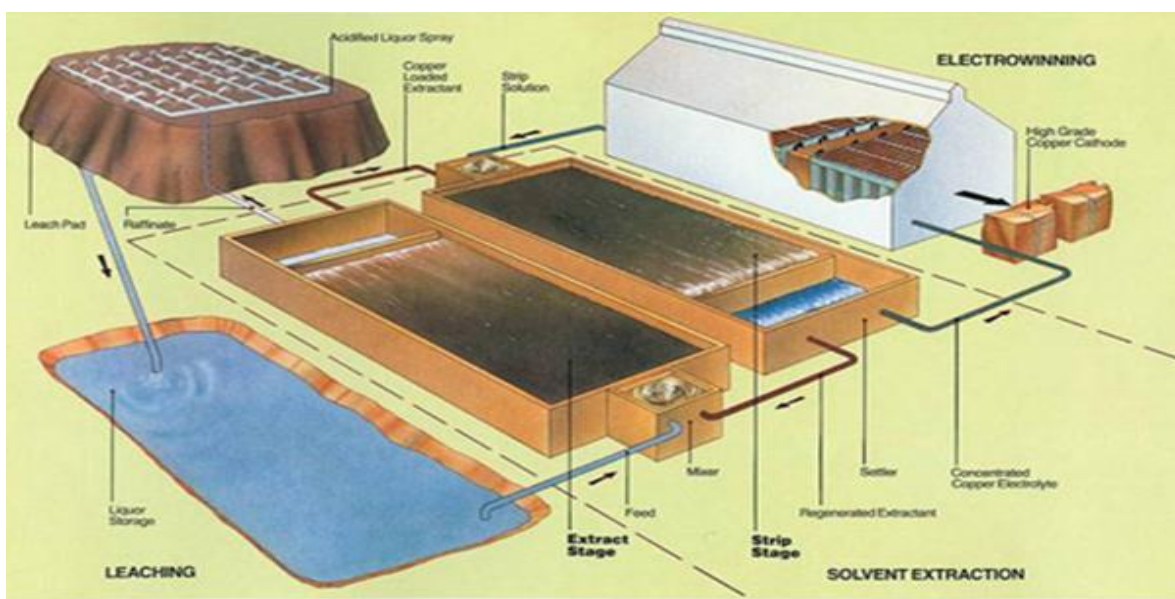


FIGURA 7. 1 SISTEMA HIDROMETALURGICO

10. CAPITULO VIII: ELECTRO OBTENCION (EW)

10.1. Introducción

La electroobtención es el proceso final en la producción de cobre catódico de alta pureza. En la electroobtención el cobre metálico se recupera desde una solución de sulfato de cobre ácido (CuSO_4) mediante el proceso de electrólisis sumergiendo dos electrodos (cátodo y ánodo) en una solución electrolítica de cobre.

10.2. Descripción Del Proceso De Electroobtención

El electrolito rico proveniente de las etapas de extracción por solventes es filtrado y acondicionado para el proceso de electroobtención.

Las celdas en cada fila están conectadas eléctricamente en serie y los cátodos individuales están conectados en paralelo en cada celda.

El electrolito a EW se bombea desde el tanque de recirculación de electrolito, hacia la línea de alimentación a celdas de electroobtención.

La mayor parte del flujo de electrolito (90% aproximadamente), es bombeado directamente a las celdas, la otra parte es derivada al intercambiador de calor (electrolito a EW /agua caliente) para alcanzar una temperatura entre $47\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El electrolito se distribuye uniformemente a través de las celdas electrolíticas y sobre las caras de los cátodos gracias al marco distribuidor de electrolito.

A medida que el electrolito fluye a través de la celda, el cobre se deposita electrolíticamente sobre la plancha madre (cátodo permanente), y el oxígeno es liberado en forma de gas en el ánodo. El cobre se acumula sobre la superficie de la plancha madre por un período de 5 a 7 días. Al final del ciclo de deposición, las planchas madre se cosechan (se retiran) de las celdas y se llevan a la máquina despegadora de cátodos, donde se separan las láminas de cobre catódico de las planchas madre. Estas planchas

madre se reparan o pulen si es necesario y se retornan a las celdas de electroobtención para iniciar un nuevo ciclo de deposición de 7 días.

Después de que el electrolito fluye a través de la celda, rebosa en el extremo opuesto de la admisión de alimentación a través de un cajón de rebose. El electrolito descargado (electrolito pobre), es recolectado desde el cajón de rebose, a un colector común, para luego fluir por gravedad al tanque de recirculación de electrolito.

La energía de corriente continua (DC) para las celdas, es suministrada por dos rectificadores /transformadores, que operan en paralelo para suministrar energía a las celdas.

El voltaje normal por celda es de 2 voltios para una densidad de corriente de 280 A/m^2 , con una eficiencia de corriente del 92% para obtener una calidad de cobre 99,999% de pureza. Los cátodos son conectados a la barra de contacto con carga negativa y los ánodos son conectados a la barra de contacto con carga positiva.

75

Un rectificador de respaldo está en espera, dispuesto para suministrar energía en caso que los rectificadores principales pierdan energía eléctrica.

Durante un corte de energía o una condición de parada parcial, el rectificador de respaldo suministrará una corriente baja a las celdas de electroobtención (corriente de protección), para impedir que los ánodos pierdan su capa de óxido de plomo. Si no hay una pequeña carga lenta fluyendo a través del ánodo, el recubrimiento de óxido de plomo se desprenderá, lo cual hace que el ánodo se transforme en pasivo. Si esto sucede, la electroobtención de cobre de los cátodos adyacentes se detiene hasta que la superficie del ánodo sea reactivada.

Los ánodos comienzan a degradarse inmediatamente después de que se pierde la energía. Para impedir la degradación, el sistema de energía de respaldo se pone en marcha automáticamente. El generador entrega la energía necesaria para el rectificador de respaldo que proporciona suministro a las celdas de electroobtención durante el corte de energía principal.

10.3. Electrolito a celdas de EW

A medida que el electrolito a EW fluye a través de las celdas de electroobtención, en el proceso se producen varios cambios:

- El contenido de cobre del electrolito disminuye a medida que el cobre se deposita en los cátodos.
- La concentración de ácido sulfúrico aumenta, debido a la descomposición del H₂O en el ánodo.
- La temperatura del electrolito aumenta, debido al calor producido por la resistencia y otras ineficiencias.

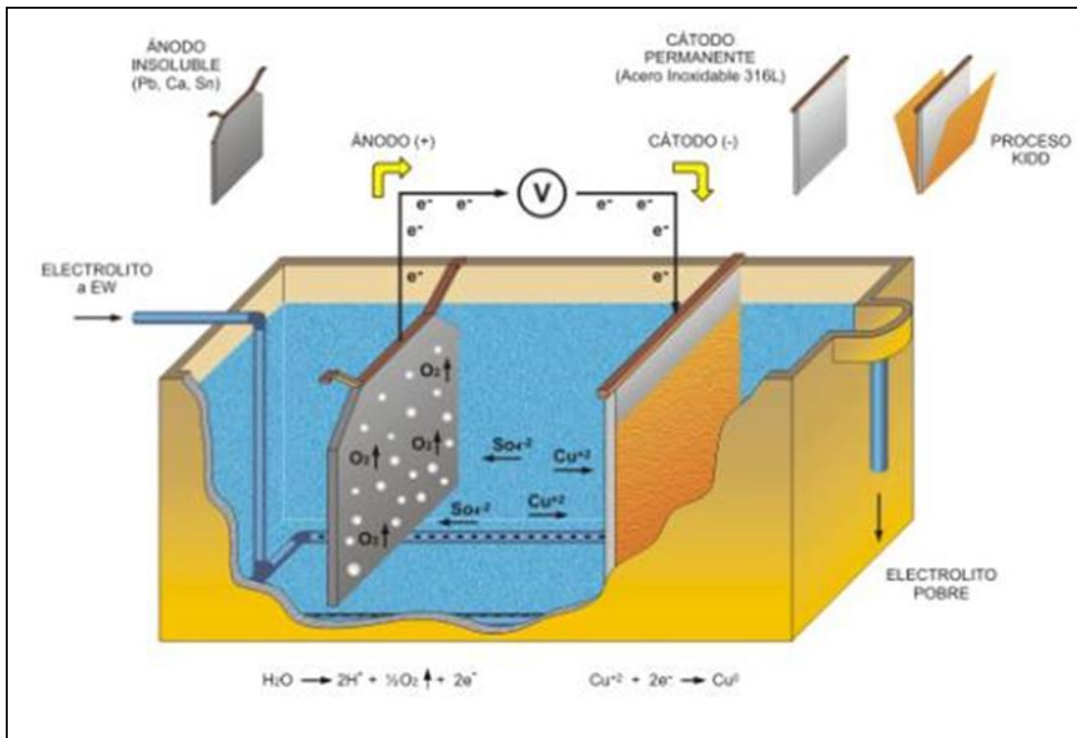


FIGURA 8. 1 PROCESOS DE ELECTROLISIS

11. CAPITULO IX: PATIO DE ESTANQUES (TANK FARM)

11.1. INTRODUCCIÓN

El patio de estanques es la zona donde las soluciones utilizadas en la operación de extracción por solventes y la operación de electroobtención pasan a través de diversas operaciones de acondicionamiento y estanques de almacenamientos. Los reactivos utilizados en las operaciones de extracción por solventes y electroobtención también son almacenadas y asimiladas en este proceso.

El patio de estanques está diseñado y construido en dos secciones paralelas de manipulación de solución. Las soluciones provenientes de los *Trenes A/B* de extracción por solventes se manipulan en forma separada del *Tren C* a través de la mayor parte de las instalaciones del patio de estanques. La presente instalación permite la adición de un *Tren D* en alguna fecha futura.

La sección del patio de estanques de la planta se divide en los siguientes sistemas:

- Manipulación de electrólitos
- Fase orgánica cargada
- Tratamiento de borras
- Reactivos

12. CAPITULO X: PROCESO CONMINUCIÓN DE MINERALES

12.1. Introducción

El proceso de molienda tiene como objetivo continuar reduciendo el tamaño de las partículas que componen el mineral, para obtener una granulometría máxima de 180 micrones (0,18 mm), permitiendo de esta forma, la liberación de la mayor parte de los minerales de cobre en forma de partículas individuales.

Se realiza utilizando grandes equipos giratorios o molinos de forma cilíndrica, los más comunes son:

- Molino convencional.
- Molino SAG.

En esta etapa al material mineralizado se le agrega agua para formar un fluido lechoso y los reactivos necesarios para realizar el proceso siguiente: La flotación.

Molienda convencional: Se realiza en dos etapas utilizando un molino de barras y un molino de bolas, respectivamente, aunque en las plantas modernas sólo se utiliza el segundo. En ambos molinos el mineral se mezcla con agua para lograr una molienda homogénea y eficiente. Luego, la pulpa obtenida es llevada a la etapa siguiente que es la flotación.

Molienda SAG: El mineral se recibe directamente desde el chancador primario (no del terciario como en la molienda convencional) con un tamaño cercano a 8 pulgadas (20 cm, aproximadamente) y se mezcla con agua y cal. El material es reducido gracias a la acción del mismo material mineralizado presente en partículas de variados tamaños (de ahí su nombre de molienda semi autógena) y por la acción de numerosas bolas de acero, de 5 pulgadas de diámetro, que ocupan el 12% de su capacidad. Dado el tamaño y la forma del molino, las bolas son lanzadas en caída libre cuando el molino gira, logrando un efecto conjunto de chancado y molienda, que resulta más efectivo y con menor consumo de energía por lo que no se requieren las etapas de chancado secundario ni terciario. La mayor parte del material molido en el SAG va directamente a la etapa siguiente, la flotación, es decir tiene la granulometría requerida bajo los 180 micrones, y una pequeña proporción debe ser enviado a un molino de bolas.

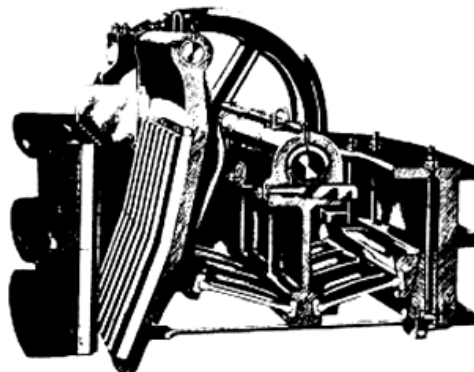
12.2. Principales equipos asociados al proceso de molienda

12.2.1. Chancado y Molienda- Conminución

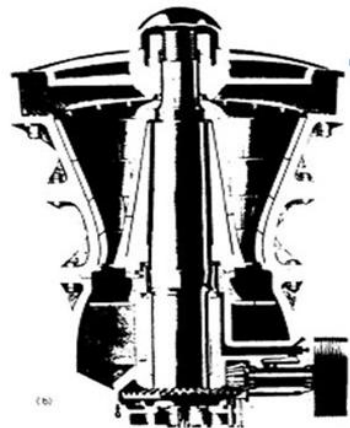
El primer paso en el tratamiento del mineral (tratamiento de materia prima, tal como el mineral pulverizado, para mejorar las propiedades físicas o químicas en preparación para su posterior procesamiento) es la conminución. La conminución es la acción de reducir un material, especialmente un mineral, a partículas o fragmentos diminutos. En resumen, la conminución es la reducción de tamaño. La conminución, combinada con la separación física, es la primera etapa típica en la extracción de minerales a partir de menas. Un buen diseño de las plantas de conminución, tanto para la eficiencia energética y la presentación de material de alimentación para procesamiento aguas abajo, es de vital importancia para la industria minera.

La conminución se realiza generalmente mediante operaciones de reducción de tamaño secuencial, comúnmente denominadas chancado y molienda. El chancado puede realizarse en dos o tres etapas. Los sistemas de chancado primario consisten en chancadores, alimentadores, sistemas de control de polvo y transportadoras utilizados para el transporte del mineral al almacenamiento del mineral grueso. El chancado primario se logra a menudo mediante una mandíbula o chancador giratorio, ya que estas unidades son capaces de manejar rocas grandes.

79



a. Sección Transversal de un Chancador tipo Mandíbula



b. Diagrama Funcional y Sección Transversal de un Chancador tipo Cono

12.2.2. Molinos de bolas

Los molinos de bolas han estado en uso desde fines del siglo XIX. Son utilizados ampliamente para la fabricación de: polvo, cemento, silicato, materiales de construcción, fertilizantes, etc. En general, el proceso de molienda de los molinos de bolas se puede dividir en proceso húmedo y proceso en seco. Los molinos de bolas son

molinos giratorios/rotatorios en los que la conminución (reducción de tamaño) se lleva a cabo con la ayuda de bolas metálicas. Dado que las bolas tienen una mayor superficie por unidad de peso que las barras, son más adecuadas para la molienda fina. La longitud del cilindro es normalmente 1 a 2 veces más larga que el diámetro. Si tiene más de 2 veces el diámetro a menudo se le llama un molino de tubo. Los molinos de bolas tienen típicamente una carga de bolas de 40 a 45%, y la reducción de tamaño se obtiene mediante una combinación de las fuerzas de impacto, resistencia al desgaste y abrasión. El mineral y las bolas son arrastrados a un lado del molino y en cierto punto caen de vuelta impactando la punta de la carga (parte inferior del molino). Las partículas de mineral y las bolas en el cuerpo de la carga se deslizan cuando se mueven a diferentes alturas y están sometidos a fuerzas de desgaste y la abrasión.

La rotación es por lo general de entre 4 a 20 revoluciones por minuto, dependiendo del diámetro del molino. Cuanto más grande es el diámetro, más lenta será la rotación. Si la periferia del molino es demasiado grande, comienza a actuar como una centrífuga y las bolas no caen de nuevo, sino que permanecen en el perímetro del molino. Los molinos de bolas se pueden utilizar como molienda primaria para los circuitos de molienda de una sola etapa o como la segunda etapa en circuitos de molienda de dos etapas. Pueden funcionar en diseños de circuito abierto o circuito cerrado. Un sistema de circuito cerrado se refiere al hecho de que el mineral no puede salir del sistema de molienda/clasificación hasta que ha alcanzado su tamaño específico. Los molinos de bolas pueden funcionar en seco o en húmedo, pero la mayoría funciona en una configuración de molienda húmeda.

80

Las responsabilidades del operador de chancado y molienda incluyen inspecciones periódicas a los molinos, operar el sistema de carga – carga de las bolas y barras, la revisión del ticket (ficha) del lote para determinar el tipo y la cantidad que debe ser molida y verificar que se cumplen todos los valores de calidad para las materias primas. El operador está obligado a seguir los procedimientos normalizados de trabajo para la carga y descarga de los molinos de bolas, y está obligado a notificar a la gerencia si las cantidades de las materias primas no coinciden con el ticket del lote.

La mayoría de las instalaciones de cobre utilizan una combinación de barras y molinos de bolas para moler el mineral sulfurado. Los molinos de barras utilizan barras de acero en tambores giratorios para moler el mineral. Un molino de bolas funciona haciendo caer el mineral contra bolas de acero libres y el revestimiento del molino. Los molinos de barras y de bolas se construyen con revestimientos reemplazables compuestos de aleación de acero de alta resistencia atornillada al cilindro del molino. La cara de molienda del revestimiento es acanalada para favorecer la mezcla. Los revestimientos requieren mantenimiento y deben reemplazarse periódicamente. El molino debe retirarse de la producción para volver a colocar el revestimiento. En algunos casos, se

introduce el mineral y el agua en un molino autógeno (donde los medios de molienda son los propios minerales duros), o en un molino semi-autógeno (donde los medios de molienda son el mineral complementado con bolas de acero de gran tamaño).

12.2.3. Molinos autógenos y semi-autógenos

En los últimos años los molinos autógenos (AG) y semi-autógenos (SAG) han aumentado en popularidad en las operaciones de procesamiento de minerales de gran tamaño. Los molinos AG/SAG pueden realizar el mismo trabajo de reducción de tamaño que normalmente toma varias etapas de chancado, cribado y métodos de molienda. A menudo, el producto es un tamaño final o listo para el pulido final en un molino de bolas o un molino de piedras. Se puede moler roca de la mina o productos primarios de chancado con su tamaño de alimentación limitado a lo que prácticamente se puede transportar. Además, pueden ser menos costosos de operar con la reducción o eliminación de las bolas o rodillos caros. Son molinos que giran/rotan, donde se llevan a cabo tareas de conminución sin ayudas de molienda. Consta de un gran cilindro de diámetro relativo a su longitud, típicamente 2 o 2,5 a 1.

Estos molinos utilizan grandes terrones de mineral como medios de molienda. Los molinos autógenos utilizan exclusivamente el mineral como su medio de molienda, pero si la dureza y la abrasividad del mineral no se prestan para la molienda autógena plena, entonces, se añade una pequeña carga de bolas de acero - 6 al 15%, para ayudar en la reducción de tamaño. Esto se conoce como un molino semi-autógeno (SAG). Los molinos SAG/AG realizan la reducción de tamaño mediante una combinación de impacto, desgaste y fuerzas de abrasión. El mineral es arrastrado a un lado del molino y en cierto punto cae de vuelta impactando la punta de la carga (parte inferior del molino). Las partículas de mineral en el cuerpo de la carga se deslizan cuando se mueven a diferentes alturas y están sometidos a fuerzas de desgaste y la abrasión. El revestimiento interior de los molinos AG/SAG es de acero o de caucho y están equipados con barras elevadoras.

Se utiliza la molienda semi-autógena en lugar de molienda autógena cuando el mineral no produce el volumen necesario. La carga circulante es una indicación de la adecuación de los medios de molienda. Una carga circulante alta indica una falta de bolas de gran diámetro o un número insuficiente de bolas, dependiendo de la distribución del tamaño en la carga circulante.

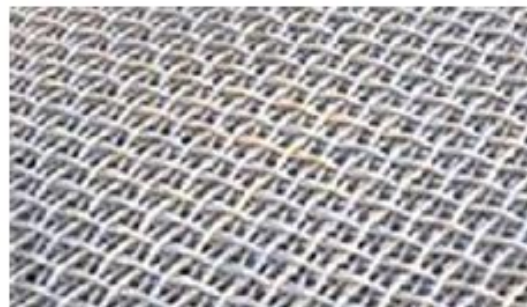
Los molinos autógenos y semi-autógenos operan típicamente a velocidades ligeramente más altas que los molinos de bolas del mismo diámetro. El propósito de un circuito de molienda es reducir el tamaño del material de alimentación a un tamaño adecuado, ya sea para un producto final o para su posterior procesamiento.

El procesamiento adicional puede implicar una lixiviación, flotación, separación por gravedad o separación magnética. De estos procesos, la flotación, la concentración por

gravedad y la separación magnética requieren una molienda lo suficientemente fina como para liberar el mineral valioso de la ganga.

12.2.4. Tamices

Los tamices se utilizan para controlar el tamaño del material de alimentación. La mena y el mineral pasan sobre un tamiz, las partículas más pequeñas caen a través de este y las partículas más grandes quedan en la parte superior para volver a chancarse. La evaluación del tamaño de la partícula asegura que el material valioso pasa a través del tamiz. Debido a las diferencias en triturabilidad entre el mineral y la roca madre, las partículas producidas tienen diferentes tamaños y formas. Estos se separan a través de tamices que permiten que las partículas que son menores que la abertura del tamiz pasen a través de él mientras se retienen las otras. Esta forma de separación puede ser un método eficaz y barato de concentrar un mineral y rechazar la ganga en algunos minerales.



Los separadores de tamaño, tales como los harneros grizzly y los tamices, controlan el tamaño del material de alimentación entre la etapa de chancado y molienda. Los harneros grizzly se utilizan normalmente para el material muy grueso. Los tamices separan el tamaño del mineral mecánicamente utilizando una superficie ranurada o malla. Utilizando gravedad los tipos de separadores más utilizados son el movimiento y las mallas de tamiz vibratorias, y los agitadores. El operador controla visualmente el

progreso de los tamices. Los tamices vibratorios pueden tener cuatro o más niveles de tamices apilados uno encima del otro. Los tamices están hechos de malla de alambre y vienen en una variedad de tamaños con el fin de adaptarse a diferentes trabajos.

Recoger la mena y los minerales de la tierra da origen a muchas impurezas, por lo tanto, es necesario separar la suciedad y el material no valioso del mineral. El tamiz vibratorio trabaja al tener los elementos que han de ser separados, de diferentes tamaños, colocados en la malla en la capa superior. Toda la máquina vibra con un movimiento circular suave para hacer pasar el material a través de las pantallas y separar cualquier material no deseado. Las aberturas de cribado más grandes estarán en la capa superior, las aberturas se vuelven cada vez más pequeñas a medida que el material progresa a través de las diferentes capas a la capa final. Esto dará lugar a capas de material clasificado; ordenados por tamaño, y con cualquier suciedad y material adicional sacudido de este. Las vibraciones del tamiz se pueden ajustar con el fin de que sea suave para el material delicado y vigoroso para los elementos más difíciles.

El usuario es responsable de revisar regularmente la cubierta del tamiz para garantizar un rendimiento eficiente y constante de material; las cosas a tener en cuenta son:

- Condición general del tamiz.
- Los paneles desgastados de la cubierta del tamiz.
- Flujo de agua adecuado en el tamiz.
- Grietas en el marco y la estructura.
- Rodapiés.



12.3. Molienda

La molienda es la última etapa en el proceso de conminución, y de todas las etapas de procesamiento de minerales, es la que requiere más energía. La molienda se realiza "húmeda", ya que esto requiere menos energía, lo que permite un ahorro energético de hasta un 30% en comparación con la molienda en seco. Las partículas de mineral se reducen y se clasifican en material uniformemente ordenado.

En la molienda, las partículas generalmente se reducen por una combinación de impacto y abrasión del mineral por el libre movimiento de los cuerpos de molienda, tales como barras de acero, bolas o piedras en el molino. Se utiliza una combinación de barras y molinos de bolas para moler el mineral sulfurado. Los molinos de barras utilizan barras de acero sueltas en tambores giratorios para moler el mineral. Un molino de bolas funciona haciendo caer el mineral contra bolas de acero libres y el revestimiento del molino.

Los molinos de barras y de bolas se construyen con revestimientos reemplazables hechos de aleación inoxidable de alta resistencia (cromo-molibdeno) atornillada al cilindro del molino. Los revestimientos de los molinos están diseñados para proteger los depósitos de molienda del molino y para mejorar el movimiento de la carga para una óptima producción y rendimiento de la molienda. La cara de molienda del revestimiento es acanalada para favorecer la mezcla. Los revestimientos requieren mantenimiento y deben reemplazarse periódicamente. Las superficies interiores de los molinos trituradores que están expuestas a medios de molienda y/o material que se muele están protegidas contra el desgaste y la corrosión mediante revestimientos hechos de caucho, metal, o una combinación de caucho y metal, o materiales no metálicos resistentes al desgaste.

El molino debe retirarse de la producción para volver a colocar el revestimiento. Apagar un molino requiere capacidad de molienda adicional para evitar apagados generales de los molinos durante el mantenimiento. Cambiar los revestimientos desgastados del molino contribuye de manera importante a la inactividad general del molino. Ya que los molinos han aumentado de tamaño, también lo han hecho los revestimientos de los molinos y el uso de máquinas de revestimiento en plantas más grandes. Una máquina de revestimiento es una máquina diseñada con el objetivo de usarse para extraer y colocar revestimientos de molinos.

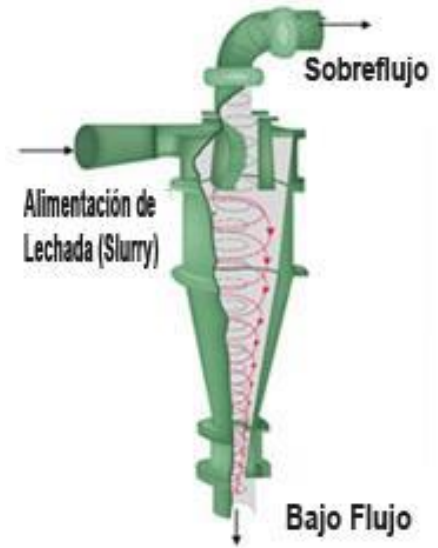
12.3.1. Ciclón

Como parte de la operación de molienda y chancado, las partículas de mineral se reducen y se clasifican. Esto se realiza típicamente en un hidrociclón. Un hidrociclón es un mecanismo de filtro o separador que aplica fuerza centrífuga a una mezcla líquida para promover la separación de los componentes pesados y ligeros en un material uniformemente ordenados entre mallas de 20 y de 200. Es uno de los dispositivos más importantes en la industria de los minerales, su uso principal en el procesamiento de estos es como un clasificador en lo que ha demostrado ser extremadamente eficaz en los tamaños de separación finos. Los ciclones se utilizan ampliamente en operaciones de

molienda de circuito cerrado. También tiene muchos otros usos, como el retiro de limo, de arena, y el engrosamiento.

Un hidrociclón típico consiste en una cuenca de forma cónica abierta en el vértice (parte inferior) a través del cual sale el flujo inferior. La parte superior de la vasija cónica está unida a una sección cilíndrica, que tiene una entrada de alimentación tangencial. La parte superior de la sección cilíndrica se cierra con una placa a través del cual pasa una cañería de rebose montada axialmente. El tubo se extiende en el cuerpo del ciclón por una sección corta y extraíble conocida como el localizador de vórtice, que evita los cortocircuitos de alimentación directamente en el desbordamiento.

La alimentación se introduce a presión a través de la entrada tangencial que imparte un movimiento de remolino a la pulpa. Esto genera un vórtice en el ciclón, con una zona de baja presión a lo largo del eje vertical. Un núcleo de aire se produce a lo largo del eje conectado normalmente a la atmósfera a través de la abertura del vértice, pero en parte creado por aire disuelto que sale de la solución en la zona de baja presión.



85

El propósito de los ciclones en el circuito es dividir el fango (slurry) de descarga del molino. Los ciclones generan dos corrientes de producto;

- Una descarga fina de “desborde” que pasa a los tanques de lixiviación/absorción
- Una descarga gruesa de “subdesbordamiento” que se recircula a los molinos para molerla más.

El fango (slurry) entra en el ciclón a presión, el mineral grueso se descarga a través del flujo inferior o subdesbordamiento, el mineral fino a través del desbordamiento.

El hidrociclón actúa sobre el principio de que las partículas dentro del patrón de flujo se someten a dos fuerzas opuestas, una fuerza centrífuga hacia el exterior y una fuerza de arrastre que actúa hacia el interior. La fuerza centrífuga desarrollada acelera la velocidad de sedimentación de las partículas separando de este modo las partículas de acuerdo con el tamaño, la forma y gravedad específicas. Las partículas de sedimentación más rápidas se mueven hacia la pared del ciclón, donde la velocidad es más baja, y se mueven a la abertura del vértice. Debido a la acción de la fuerza de arrastre, las partículas de sedimentación más lentas se mueven hacia la zona de baja

presión a lo largo del eje y son llevadas hacia arriba a través del localizador de torbellino al desbordamiento.

12.3.2. Tipos de Molinos y Operaciones de Molienda

Un molino es un instrumento diseñado para romper materiales sólidos en trozos más pequeños. El proceso de molienda se lleva a cabo utilizando equipos rotatorios grandes llamados molinos de trituración. Hay muchos tipos diferentes de molinos y muchos tipos de materiales procesados en ellos.

- **Molino de Bolas**

Un tipo típico de molino fino es el molino de bolas. Utiliza la fuerza centrífuga y muchas bolas de metal para moler sustancias hasta transformarla un polvo fino. Un cilindro giratorio ligeramente inclinado u horizontal está parcialmente llenos de bolas, por lo general de piedra o de metal, las cuales trituran el material a la finura necesaria mediante la fricción y el impacto con las bolas que caen.

- **Molino de Barras**

Al igual que en el molino de bolas, un molino de barras es un gran cilindro horizontal que utiliza la fuerza centrífuga para moler materiales. Un tambor giratorio causa fricción y desgaste entre las barras de acero y las partículas de mineral. En lugar de las bolas, el molino de barras utiliza varillas metálicas largas que se colocan casi paralelas entre sí y el cilindro. Las paredes de la trituradora también están revestidas, de modo que cuando las barras caen, aplastan el material contra sí mismas.

- **Molino SAG**

SAG es un acrónimo de molienda semi-autógena, y se aplica a las plantas que utilizan bolas de acero, además de grandes piedras para moler. Muele materiales de trozos grandes en trozos pequeños, que puedan utilizarse para el procesamiento. Un molino SAG es generalmente parte de la primera etapa en el proceso de molienda. Un molino de SAG se utiliza con mayor frecuencia en las faenas de minería, en particular en la extracción de metales preciosos tales como oro, cobre, plata y níquel.

- **Molino autógeno**

Un tambor giratorio lanza grandes rocas en un movimiento de catarata que provoca la rotura de las rocas grandes por impacto y la molienda por compresión de las partículas más finas. Es similar en operación a un molino SAG, como se describió anteriormente, pero no utiliza bolas de acero en el molino.

- **Molino de guijarros**

Un tambor giratorio causa fricción y desgaste entre los guijarros y las partículas de mineral. Puede ser utilizado donde se debe evitar la contaminación del producto por culpa del hierro de las bolas de acero.

- **Rodillos de molienda de alta presión**

El mineral se coloca entre dos rodillos que son empujados juntos firmemente, mientras que su movimiento de rotación empuja el mineral a través de un pequeño espacio entre ellos. La presión extrema hace que las rocas se fracturen en partículas más finas y también causa micro fracturas a nivel de tamaño del grano

- **Molino de desgaste (o Disco)**

Este molino no utiliza un principio de cilindro, en su lugar, utiliza un par de discos que están cerca y paralelos entre sí para crear una cámara de molienda en el espacio resultante. Un disco se mantiene estacionario mientras que el otro gira a gran velocidad para moler el material hasta que es lo suficientemente fino como para salir por la brecha en los bordes del disco. Algunos molinos de desgaste tienen ambos discos girando en sentido contrario para acelerar este proceso. Se hace un orificio en el centro del disco para poder colocar el material y se hace una brecha más pequeña hacia el borde del disco, haciendo el material más y más fino antes de que salga de la cámara.



Molino de Bolas
Figura 3



Operación de un Molino de Bolas
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Ball_mill.gif



Medio de Chancado
www.grindingmedia.com

12.3.3. Espacios confinados

Los espacios confinados pueden estar por debajo o por encima del suelo y se pueden encontrar en casi cualquier lugar de trabajo. Un espacio confinado está determinado por los riesgos asociados a un conjunto de circunstancias concretas y no sólo porque el trabajo se realiza en un espacio pequeño.

Algunos ejemplos de espacios confinados incluyen:

- Silos.
- Tachos.
- Tolvas.
- Chancadores.
- Bocas o accesos.
- Galerías de acceso.
- Molinos, tales como molinos de bolas y SAG

Los operadores de molienda y chancado están obligados a tener un permiso para espacios confinados de acuerdo con la norma australiana. Las normas australianas son documentos publicados que contienen las especificaciones y procedimientos diseñados para asegurar que los productos, servicios y sistemas son seguros, fiables y que se llevan a cabo constantemente en la forma en que estaban destinados a realizarse.

88

12.3.4. Cintas Transportadoras

El operador pone en marcha las cintas transportadoras de alimentación y los equipos de molienda, y observa el producto molido descargado sobre las transportadoras o en recipientes para las impurezas, grumos o partículas de tamaño inadecuado. Las cintas transportadoras juegan un papel importante en la industria minera. Se utilizan para el transporte de material de una parte del proceso a otro y se utilizan en conjunción con una variedad de otros equipos desde elevadores de cubos a tolvas y pilas. Las cintas transportadoras se componen de una serie de componentes de ingeniería, incluyendo:

- Correas.
- Poleas.
- Guardas o barreras.
- Rodillo o polea guía.

- Guardapiés.
- Rodillos o ruedas.
- Rodamientos.
- Cajas de cambio.
- Interruptores de detención de emergencia.
- Pesómetros.

Como con cualquier dispositivo mecánico y eléctrico, las cintas transportadoras pueden presentar algunos problemas de seguridad. La probabilidad de ser atrapado y sufrir lesiones graves por la maquinaria en movimiento es muy alta. Ya que las cintas transportadoras tienen muchas partes móviles, cualquier persona que trabaje en, cerca o alrededor de ellas deberá ser competente en materia de seguridad de transporte. Los peligros asociados con las cintas transportadoras y sus piezas móviles deben eliminarse mediante métodos físicos de protección directos e indirectos, como los procedimientos, capacitación y señalización.

12.3.5. Pesómetro

89

Los pesómetros, también conocidos como básculas de cinta o pesadores de cinta, están diseñados para pesar un producto en movimiento a lo largo de una cinta transportadora y se utilizan para la pesada continua de material mineral quebrado en tránsito en cintas transportadoras. Es uno de los elementos críticos utilizados para determinar el concentrado de mineral de una tasa de flujo en el tonelaje por hora, así como el almacenamiento de un total continuo. El pesómetro supervisa típicamente la velocidad de desplazamiento de la cinta a través de un sensor/tacómetro de velocidad y el peso del material que viaja sobre el marco de pesaje en cualquier momento dado.

Un pesómetro consiste en un marco de pesaje equipado con una celda de carga (un dispositivo que se utiliza para convertir una fuerza en una señal eléctrica) que está montado en el bastidor del transportador y conectado a un digitalizador para traducir la información de las lecturas de peso en velocidad de flujo y peso total. Las lecturas del pesómetro se utilizan para calcular las productividades tales como la productividad operacional y la eficiencia de la producción de la maquinaria. El rendimiento de los pesómetros está muy ligado a las condiciones operativas, tales como el derrame de mineral/concentrado en los pesómetros y problemas en la operación de las cintas transportadoras. Es muy importante limpiar el pesómetro regularmente para minimizar la acumulación de material, ya que puede provocar errores de medición/lectura, tales como lecturas por sobre la escala. Tenga en cuenta siempre que los trabajos de mantenimiento, tales como cambios de rodillos, nuevas uniones, etc. que se llevan a cabo en una cinta transportadora equipada con pesómetros requerirán una calibración

completa después de que se lleven a cabo. Todas las partes en movimiento y/o piezas con desgaste deben revisarse y recibir mantenimiento regularmente para prevenir problemas potenciales de mantenimiento.



Una correa de pesaje consiste en un marco de pesaje equipado con una celda de carga que está montada en el bastidor del transportador y conectado a un digitalizador para traducir la información de las lecturas de peso en velocidad de flujo y peso tota

13. MÓDULO XI: NOCIONES DE FLOTACIÓN (MANEJO DE REACTIVOS)

13.1. Introducción al proceso de Flotación

Los procesos de flotación son usados para separar o concentrar minerales y otras especies químicas. La separación por flotación es el resultado de muchos procesos fisicoquímicos complejos que ocurren en las interfaces sólido/líquido, líquido/gas y sólido/gas.

La flotación depende de la probabilidad de unión de la partícula a la burbuja en la celda de flotación, la cual es determinada por la hidrofobicidad de la superficie de la partícula. En la mayoría de los sistemas de flotación, la superficie de la partícula se torna hidrofóbica por la adsorción selectiva de los surfactantes llamados colectores.

Es decir, la flotación es una técnica de concentración que aprovecha la diferencia entre las propiedades superficiales o interfaciales del mineral, o especies de valor, y la ganga, que se basa en la adhesión de algunos sólidos a burbujas de gas generadas en la pulpa por algún medio externo, en la celda de flotación.

91

13.2. Proceso General

Las burbujas de aire transportan los sólidos a la superficie donde son recolectados y recuperados como concentrado. La fracción que no se adhiere a las burbujas permanece en la pulpa y constituye la cola o relave. De este modo, la condición de flotabilidad es una fuerte adhesión entre las partículas útiles y las burbujas, las cuales deben ser capaces de soportar la agitación y turbulencia en la celda. Estas partículas se dicen hidrofóbicas, o repelentes al agua, al contrario de las partículas que constituyen el relave o cola, que son hidrofílicas.

Para lograr una buena concentración en la etapa de limpieza del concentrado, se requiere que las especies útiles que constituyen la mena estén separadas o liberadas, esta liberación de las partículas útiles, no es necesaria en la etapa primaria de flotación (etapa rougher). La liberación de las partículas se consigue, generalmente, con etapas de molienda o remolienda. Para la mayoría de los minerales se alcanza un adecuado grado de liberación moliendo la mena a tamaños del orden de $-100\ \mu\text{m}$ ó $-74\ \mu\text{m}$.

El proceso de flotación está determinado por variables que interactúan entre sí, y cuyo conocimiento contribuirá a comprender mejor el proceso en sí y obtener finalmente un mejor rendimiento en las aplicaciones prácticas.

La propiedad que permite la separación en un proceso de flotación es la naturaleza hidrofóbica (o aerofílica) de las especies mineralógicas que componen la mena, cuyas características hacen que las superficies presenten afinidad por el aire o por el agua.

Al contrario de otros métodos de concentración, en la flotación es posible variar la diferencia entre las propiedades útiles y la ganga, modificando el ambiente químico y electroquímico del sistema mediante la adecuada selección de los reactivos químicos adicionados: colectores, espumantes, activadores, depresores o modificadores de pH:

Colector: Es un surfactante, que tiene la propiedad de adsorberse selectivamente en la superficie de un mineral y lo transforma en hidrofóbico. Las burbujas de aire se adhieren así, preferentemente sobre estas superficies, atrapando las partículas.

92

Espumante: Es un surfactante que se adiciona a la pulpa con el objetivo de estabilizar la espuma, en la cual se encuentra el mineral de interés. Por otra parte, los reactivos modificadores se usan para intensificar o reducir la acción de los colectores sobre la superficie mineral.

Para que la flotación de minerales sea efectiva, se consideran los siguientes aspectos:

Reactivos químicos

- Colectores.
- Espumantes.
- Activadores.
- Depresores.
- Modificadores de pH.

Componentes del equipo de flotación

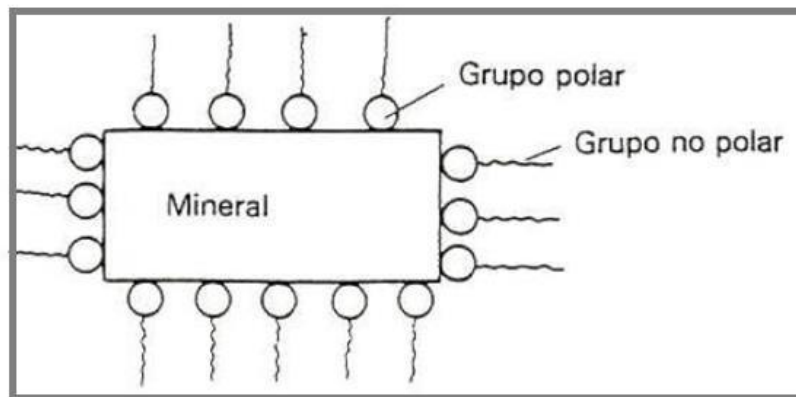
- Diseño de la celda.

Sistema de agitación, forma en que se dispersa el flujo de aire, configuración de los bancos de celdas, control de los bancos de celdas.

Componentes de la operación

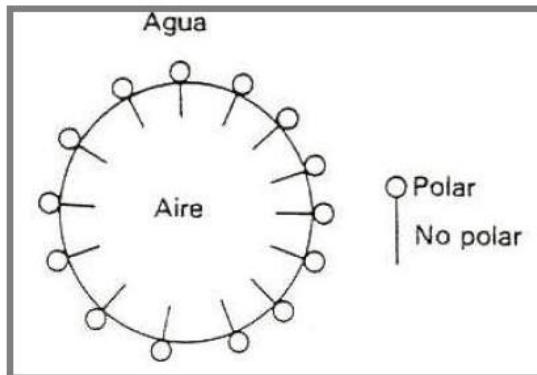
- Flujo de alimentación.
- Mineralogía de la mena.
- Granulometría de la mena.
- Densidad de la pulpa.
- Temperatura.

Adsorción del colector sobre la superficie del mineral

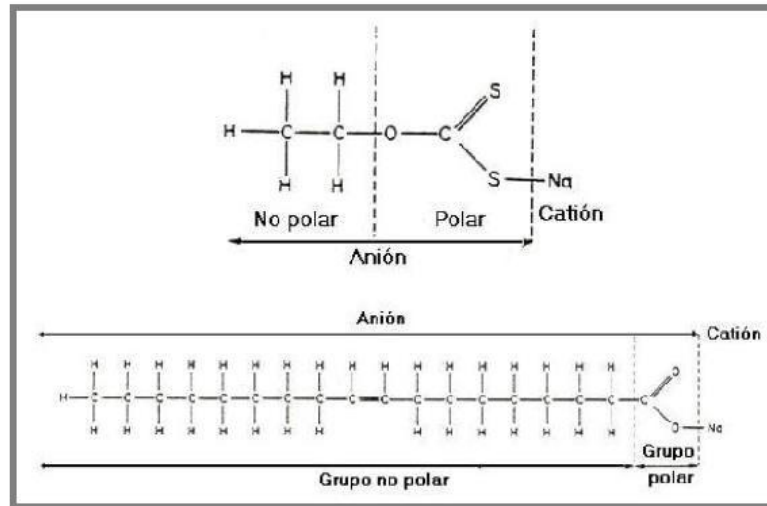


93

Acción del espumante



Estructura química de dos colectores (etil xantato de sodio y oleato de sodio)



Así, en el proceso de flotación están involucradas tres fases:

- Fase líquida (generalmente agua).
- Fase gaseosa (generalmente aire) .
- Fase sólida, que, dada la complejidad del sistema, es distinta para cada tipo de mineral a flotar, ya que depende de las características físicas, químicas y mineralógicas del sólido.

94

Además de estas fases, existen variables que influyen y dependen de los equipos y diseño de los circuitos de flotación, además de la operación propiamente tal.

De esta forma, si en una pulpa se dispersa aire en forma de burbujas, las partículas más hidrofóbicas se ubicarán en la interface aire agua, formando agregados estables con las burbujas, los cuales, debido a su menor densidad global ascenderán hasta la superficie de la pulpa, para formar en ella una capa de espuma mineralizada. Las partículas hidrofílicas, en cambio, permanecerán en el seno de la pulpa, generando un concentrado en la capa de espuma, y un relave o cola.

Para alcanzar la selectividad en un proceso de flotación, el control de pH de la solución es el método más utilizado. La cal, como reactivo modificador de pH, tiene un efecto complejo en flotación, puesto que al sufrir hidrólisis en medio acuoso, modifica las propiedades iónicas de éste y de esta manera afecta los demás factores

involucrados en flotación: las propiedades interfaciales de los sólidos y las propiedades de reactivos y gases.

13.3. Principales equipos asociados al proceso de Flotación

A continuación se describen de manera general dos de los principales equipos asociados al proceso de flotación; celdas de flotación y columnas de flotación.

a) Celdas de Flotación

- **Celdas Mecánicas:** Está constituida por un depósito en forma de paralelepípedo o forma cúbica, de distintas capacidades, con un mecanismo rotor-estator para la dispersión del sólido y el aire. Las celdas se juntan en serie y forman un banco de flotación agrupándose de diferentes formas.
- **Celda Mecánica Cilíndrica:** Son estanques que contienen un mecanismo agitador. El mecanismo del agitador ayuda a suspender los sólidos y a dispersar el aire en la pulpa. Las celdas son de forma cilíndrica y se colocan en filas que contienen uno o más grupos de celdas (bancos). La pulpa fluye en serie por todas las celdas de la fila, y entra en el cajón de alimentación, luego a la celda (s) en el primer banco y a través de los cajones de unión al próximo banco de la fila, cada cajón de unión cuenta con una válvula de dardo. La pulpa sale de la última celda en el último banco a través de una o más válvulas de dardo hacia un cajón de descarga o de colas. Las válvulas de dardo de los cajones de unión y del cajón de colas, controlan el nivel de pulpa en el banco anteriormente a estos. En general, se usan porque es estructuralmente más barato.

95

Funciones de las celdas de flotación

- Mantener todas las partículas, las más gruesas y las más densas, en suspensión dentro de la pulpa. Para conseguir lo anterior, la pulpa debe ser mezclada o sometida a circulación dentro de la celda a altas velocidades, de modo de superar las velocidades de sedimentación de las partículas más gruesas.
- La aireación, que involucra la diseminación de finas burbujas de aire dentro de toda la celda.
- Promover la colisión entre las partículas de mineral y las burbujas de aire, con la finalidad de permitir la adhesión selectiva y el transporte de las partículas de mineral deseado en la columna de espuma.

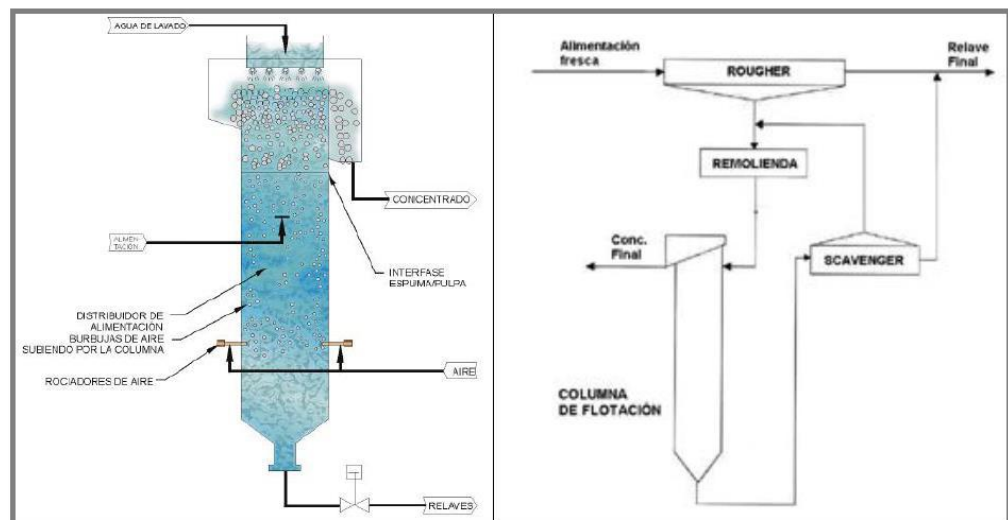
- Mantener la pulpa en condiciones de quietud, inmediatamente debajo de la columna de espuma. Las celdas se diseñan de modo de prevenir la turbulencia en las cercanías de la espuma, puesto que produce una pérdida de estabilidad de la espuma y baja la recuperación.
- Proveer un eficiente transporte de la pulpa alimentada a la celda y de la salida del concentrado y del relave desde el circuito. Proveer un mecanismo de control de: la profundidad de la pulpa y la profundidad de la columna de la espuma; la aireación de la celda e idealmente del grado de agitación de la pulpa.

En relación al tamaño de las celdas mecánicas de flotación, éstas han ido aumentando notoriamente en su tamaño a lo largo de los años.

b) Columna de Flotación

La columna de flotación se ha constituido en uno de los desarrollos más destacados de los últimos tiempos en el campo de la concentración de minerales. Las celdas columnares resultan esenciales en circuitos de limpieza, ya que es posible efectuar en una sola etapa, varias de los pasos que anteriormente se realizaban en celdas mecánicas convencionales. Esto hace posible el uso de circuitos más simples y fáciles de controlar.

96



En las columnas de flotación la alimentación es inyectada a aproximadamente 2/3 de altura de la columna, el concentrado sale por la parte superior de la celda, mientras que, la cola o relave se recoge por la parte inferior de la columna.

La columna de flotación contiene dos zonas:

- La zona de colección (conocida como zona de recuperación).
- La zona de limpieza sobre la interfase (conocida como zona de espuma).

En la zona de colección, las partículas de la suspensión de alimentación son conectadas en contracorriente con las burbujas producidas por un distribuidor de burbujas que se encuentra en el fondo de la columna. Las partículas hidrofóbicas colisionan con las burbujas, se unen a ellas y son transportadas a la zona de limpieza. Las partículas hidrofílicas y menos hidrofóbicas son removidas por el fondo de la columna.

En la zona de limpieza se agrega agua cerca del tope de la espuma, lo que provee un flujo neto de líquido descendente llamado “bias positivo”. La existencia de “un bias positivo” previene el arrastre hidráulico de partículas finas al concentrado. La columna ha probado ser particularmente atractiva en aplicaciones de limpieza y puede alcanzar en una sola etapa aumentos de ley del concentrado comparables al de varias etapas ejecutadas en celdas mecánicas, a menudo con mejoras en la recuperación.

97

13.4. Nociones de manejo de reactivos

Esta unidad cubre el manejo de reactivos de la minería metalífera. Se incluye la planificación y preparación para la manipulación de reactivos, puesta en marcha de equipos en secuencia, mezclado de los reactivos, adición de reactivos, transferencia y almacenamiento de reactivos, el apagado en secuencia y/o aislamiento del equipo, y la realización de actividades de limpieza.

Los reactivos son productos químicos peligrosos que se utilizan en muchas industrias para llevar a cabo un cambio químico en una sustancia. Debido a sus componentes peligrosos y al uso intensivo en la minería, es importante entender cómo manejarlos, usarlos y almacenarlos de forma segura. Esta unidad y el libro le proporcionarán la información necesaria para poder trabajar con seguridad con reactivos y continuar realizando su trabajo en una sola pieza.

La unidad comenzará con la comprensión de:

- ¿Qué son los reactivos?
- Cómo pueden dañarnos los reactivos.
- Sustancias peligrosas y mercancías peligrosas.

- Requisitos de seguridad y documentación.
- Manejo y almacenamiento de reactivos.
- Cómo agregar, mezclar y utilizar los reactivos.

Reactivos

Un reactivo es una sustancia química conocida por reaccionar de una manera específica; los reactivos se usan para producir, detectar, medir, o fabricar otras sustancias. Por lo general, implica un producto químico que se añade con el fin de llevar a cabo el cambio químico. Los reactivos se clasifican como sustancias peligrosas y mercancías peligrosas.

Lo que hay que tener en cuenta es que las sustancias peligrosas y pueden perjudicar su salud, por lo que ¡hay que tener cuidado cuando se trabaja con ellos!

Los productos químicos y reactivos de la minería son parte de un mercado complejo y se utilizan para muchas aplicaciones. Hay productos químicos especializados para la flotación, espesamiento y extracción del metal, junto con los productos químicos más generales utilizados para el control de polvo anti sarros, ayuda en el filtrado, ayudas en la aglomeración, y los ácidos a granel y el cianuro. Los extractantes y diluyentes se utilizan en las operaciones de lixiviación.

98

El operador de molienda y chancado es también responsable de supervisar los reactivos añadidos. Modificarlos según los criterios del mineral, y confirmar que todas las bombas de reactivos están funcionando, incluyendo la adición de cal. Un reactivo es una sustancia química conocida por reaccionar de una manera específica; los reactivos se usan para producir, detectar, medir, o fabricar otras sustancias. Por lo general, implica un producto químico que se añade con el fin de llevar a cabo un cambio químico. Hay productos químicos especializados para la flotación, espesamiento y extracción del metal, junto con productos químicos más generales utilizados para el control del polvo, anti sarros, ayuda en el filtrado, ayudas en la aglomeración, y ácidos a granel y el cianuro.

Las sustancias químicas peligrosas son nocivas y pueden perjudicar su salud, por lo que ¡usted tiene que tener mucho cuidado y tomar las precauciones necesarias cuando se trabaja con ellas! Lea siempre la etiqueta del reactivo y la HDS antes de trabajar con cualquier reactivo químico nuevo y desconocido. La HDS proporciona a los trabajadores una fuente de información detallada por escrito sobre las propiedades,

manipulación y transporte de los reactivos químicos. En las operaciones de extracción y tratamiento se utilizan una variedad de recursos corrosivos. Los ejemplos incluyen el combustible diésel, materiales explosivos, materiales inflamables, y materiales corrosivos y reactivos. El almacenamiento in situ y la contención de estos productos están estrictamente regulados y deben cumplir con todas las regulaciones ambientales.

Todo el equipo que se va a utilizar con reactivos debe ser seguro y estar operativo antes de su uso. Las pruebas antes de comenzar aseguran que todo el equipo está en una condición segura y operable. Debe llevarse a cabo una verificación previa al inicio en cada cambio de turno o después de que se haya realizado un trabajo de reparación/mantenimiento. Las verificaciones antes de la partida que deben completarse antes de manipular reactivos incluyen:

- Buscar derrames alrededor de los tambores o tanques.
- Comprobar la presión de las cañerías y la bomba.
- Verificar si los fluidos no son bombeados, esto podría indicar fugas.
- Pasillos libres de peligros.
- Ventilación adecuada.

En el caso de un derrame, asegúrese de identificar correctamente el tipo de derrame, el control y de contener el derrame y organizar una limpieza rápida y adecuada. Deben estar disponibles en su área de trabajo elementos de control de derrames y EPP para los químicos que se manipulan.

Tabla 22: Tipos de reactivos de uso común y sus caracterizaciones.

Cianuro de sodio (NaCN)	Utilizado para la lixiviación de metales a partir del concentrado por gravedad de flotación.
Cal (CaO)	Se utiliza para regular el pH en el proceso. Se añade cal al circuito de trituración y el circuito de destrucción de cianuro.
Amil Xantato (C _n H _n OS ₂ K)	Se utiliza como un colector durante el proceso de flotación.
Reactivos de Flotación MIBC	Utilizados en el circuito de flotación como un agente de formación de espuma y para reducir la tensión superficial.
Reactivos de Flotación (Aeroflot 3477)	Utilizados en el circuito de flotación como un colector para materiales hidrófobos excesivos.

Floculante aniónico (Percol 727)	Se utiliza en el espesante para mejorar la decantación de los sólidos y la clarificación del agua.
Metabisulfito de sodio (Na ₂ S ₂ O ₅)	Se utiliza para oxidar el cianuro en el circuito de destrucción de cianuro según sea necesario.
Sulfato de cobre (CuSO ₄ * 5H ₂ O)	Se utiliza como catalizador en el proceso de destrucción de cianuro para la decantación de los complejos de cianuro de hierro.
Nitrato de plomo	Se utiliza para activar el polvo de zinc durante el proceso de Merrill Crowe.
Antiescalante	Se añade a las mezclas de productos químicos para evitar la acumulación de sedimentos en los tanques y las cañerías.
Polvo de zinc	Se utiliza en el proceso Merrill Crowe
Ácidos (sulfúrico, hidroclorehídrico)	El contacto con líquidos ácidos fuertes o humos es un peligro para la salud humana y también puede causar daños estructurales en una instalación. Las emisiones de ácido en el medio ambiente pueden tener efectos directos sobre la biota, y también solubilizar y por ende movilizar a los tóxicos de metales pesados.
Bórax, soda cáustica, y nitrato de potasio	Estos reactivos son componentes del fundente y se utilizan en el proceso de refinado del concentrado de oro-plata.
Fluoruro de calcio (CaF ₂)	Se utiliza como un aditivo en el proceso de refinación.

100

14. MÓDULO XII: PROCESO DE ESPESAMIENTO Y FILTRACIÓN

14.1. Introducción a la operación de Espesamiento y filtración

Los métodos más utilizados para procesar minerales, tales como la flotación, requieren que el mineral, reducido a un determinado rango de tamaño de partículas, se encuentre mezclado con agua. Una vez obtenido el concentrado y el relave, o la solución y el residuo, es necesario separar los sólidos del fluido.

El concentrado de una planta de procesamiento de minerales metálicos sigue su camino hacia la etapa de fundición donde debe ser sometido a calentamiento (pirorefinación). Alternativamente, en aquellas industrias mineras que no requieren fundición, el concentrado debe venderse como tal y ser transportado fuera de la empresa. En ambos casos interesa que el producto contenga una mínima cantidad de líquido para reducir el consumo de combustible en el proceso de secado o en el costo de transporte.

La eliminación de agua del concentrado se efectúa mediante el espesamiento, la filtración y el secado. La eficiencia del espesamiento se mide, en este caso, a través del porcentaje de sólido logrado en la descarga, el que debe ser el máximo posible. Para la filtración y secado, la “humedad residual” debe ser mínima.

101

Mientras más eficiente es cada una de estas etapas, mejor será el rendimiento económico de la empresa.

En cuanto a los relaves finales de una planta de flotación, que son material de desecho o contaminantes, no se les debe eliminar sin antes recuperar el agua. Las empresas mineras muchas veces están situadas en regiones áridas o cordilleranas donde el agua es un recurso escaso.

La sedimentación es la remoción de partículas sólidas que se encuentran suspendidas en un líquido, mediante decantación gravitacional.

Las operaciones de este tipo se pueden dividir en Espesaje y Clarificación. Aunque se tratan de procesos en los cuales están en juego los mismos principios, estos difieren en los objetivos finales que cada uno de ellos poseen. El espesaje tiene por objetivo principal el de aumentar la concentración de sólidos de la pulpa de descarga. En tanto

que, la clarificación o decantación, se provoca la remoción de partículas sólidas desde flujos relativamente diluidos.

De acuerdo a lo anterior, en la clarificación las separaciones sólido-líquido se caracterizan por una sedimentación sin una interface clara entre el líquido y Operación de espesamiento y filtración.

Se denomina espesamiento o espesaje a la operación de separar, mediante el mecanismo de sedimentación, parte del agua, de modo de obtener por una parte, una pulpa de mayor concentración de sólidos en la descarga (underflow) y por la otra, un flujo de agua clara las partículas o sedimento, por consecuencia la capacidad está limitada por la cantidad de sólidos que son permeables en el rebose (overflow). El rendimiento de estos equipos entonces es el característico para clasificadores húmedos y pueden ser analizados mejor bajo ese punto de vista.

Clasificación de la operación de sedimentación

CARACTERÍSTICAS DE LA PULPA	DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO	APLICACIÓN
Diluida (clarificación)	Partículas sedimentando inicialmente independientes, sin formación de interfase. La velocidad es función principal del tamaño de las partículas, y de la concentración.	<ul style="list-style-type: none"> • Clarificación de agua o salmuera. • Tratamiento de desechos o contaminantes
Intermedia (clarificación)	Zona alta de partículas sedimentando independientemente. Zona baja de sedimentación colectiva. Zona de interfase sin forma clara.	<ul style="list-style-type: none"> • Pulpas de procesos químicos y metalúrgicos.

Concentrada (espesaje)	Pulpa sedimenta con interfase clara. Idealmente la velocidad de sedimentación es función sólo de la concentración. En la práctica la velocidad aumenta con la formación de flóculos.	<ul style="list-style-type: none"> • Pulpas y procesos químicos y metalúrgicos.
Compresible (espesaje)	Sedimentación manual con interfase, posterior sedimentación obstruida de lodos que depende del tiempo y profundidad de la zona obstruida.	<ul style="list-style-type: none"> • Pulpas especiales con agregado de floculantes (minería metálica).

Sedimentación

Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido. El concepto de sedimentación de partículas en suspensión es fundamental en la operación de espesaje, por cuanto es la base de este proceso.

103

La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios.

La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido re-suspendidas y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de clarificación y espesamiento. Se habla de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de espesamiento cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos

referirnos a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida.

Otra etapa importante de estos procesos se relaciona con el transporte del concentrado.

Aquí encontramos el mineraducto, el cual está diseñado para operar en forma continua dentro del rango de parámetros y variables definidos para el transporte de concentrado. Para manejar la variabilidad de la producción, originada por cambios en la ley y por la operación de la planta de concentrado, se cuenta con estanques agitados de almacenamiento de concentrado, ubicados entre la descarga de los espesadores y la estación de bombeo.

Estos estanques proveen un volumen de almacenamiento que permite mantener estable la operación de la tubería durante oscilaciones del nivel de producción. El modo preferencial de operación para la tubería de concentrado es la operación en régimen estacionario a la tasa promedio de producción de concentrado, situación en la cual los estanques absorben las variaciones de producción aumentando y disminuyendo su nivel.

104

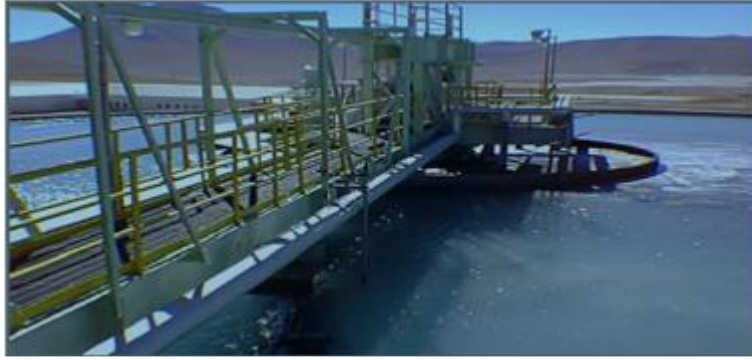
La tubería que desplaza el concentrado, parte desde la Estación de Bombeo, ubicada en la planta concentradora hasta Puerto o lugar de despacho.

14.2. Principales equipos asociados al proceso

A continuación se presenta una descripción general de tres de los principales equipos presentes en el proceso; espesadores, filtradores, y mineroducto.

A. Espesador:

Estanque cilíndrico con un fondo inclinado y un mecanismo de rotación de las rastras que conducen los sólidos a la descarga central abierta. Un rebalse periférico ubicado en la parte superior del estanque sirve para evacuar el líquido clarificado. Generalmente, un pozo circular localizado en el centro de la superficie del espesador recibe la alimentación y está diseñado de tal modo que minimiza la agitación, obteniéndose así un rebalse claro. Los sólidos sedimentados se bombean o se conducen gravitacionalmente desde la descarga ubicada en el fondo del espesador.



Actualmente, el tamaño de los espesadores oscila entre 2,5 (m) hasta 150 (m) de diámetro, existiendo también diseños especiales de hasta 250 (m) de diámetro. La profundidad varía entre 3 (m) en los diámetros pequeños hasta 10 (m) o más para las unidades mayores.

En las unidades de diámetro menor a 20 (m), normalmente el mecanismo impulsor es soportado por estructuras metálicas, que cruzan el estanque. En las grandes unidades el mecanismo es soportado por un pilar de construcción de acero o concreto.

105

El mecanismo de las rastras consiste en dos brazos radiales a 180° con hojas que empujan los sólidos a la descarga central. Los brazos están unidos al eje central. Hay diseños que incluyen 3 ó 4 brazos para ciertos servicios más rigurosos y raspadores espirales continuos.

El mecanismo impulsor está ubicado en el extremo superior del eje o montado sobre una plataforma circular, dependiendo del tipo de unidad.

En los espesadores de gran diámetro y en los modelos antiguos de pequeño diámetro, los mecanismos impulsores traccionan en la periferia.

También se usan protecciones para la sobrecarga, desde simples mecanismos operados en forma manual, hasta mecanismos automáticos. Dichos mecanismos, se diseñan para elevar las rastras 30 (cm.) (1pié) o más para el caso de eventuales sobrecargas. Si la sobrecarga se reduce, las rastras se bajan a su posición normal de operación en forma automática o manual (realizada por un operador).

El flujo que entra en un espesador se denomina “alimentación” en tanto que el rebose se denomina “efluente”, “sobrenadante” u “overflow”. El hundido se llama “lodo” o “underflow”. La terminología depende de la industria y aplicación donde esté instalado.

Partes principales de un Espesador

- **El tanque:** Los espesadores están constituidos por un tanque cilíndrico sobre una porción de un cono invertido de muy poca profundidad, los diámetros de estos tanques circulares son mucho más grandes comparados con su altura; el cono en el fondo ayuda al movimiento de los sólidos concentrados hacia el punto de descarga; el área del tanque circular debe ser lo suficientemente grande como para que ninguna partícula sólida salga por el overflow y la altura lo suficiente como para lograr una pulpa a la concentración deseada. La función principal del tanque es proporcionar un tiempo de permanencia para producir una pulpa a la concentración deseada y un líquido claro en el overflo.
- **Rastrillo:** Sirve para arrimar la carga asentada hacia el centro del tanque, justo sobre el cono de descarga, evitando de esta manera que se asiente demasiado, la pulpa facilitando la descarga asentada del espesador. Está formado por un conjunto de varillas de acero y la estructura va unida al eje principal. Su movimiento es lento y gira con el eje, siendo impulsado por un motor eléctrico a través de una catalina y un piñón.
- **Eje del rastrillo:** Sirve de apoyo al rastrillo y movimiento de éste.
- **El receptor de carga:** Tanque cilíndrico de poca altura, que sirve para disminuir la velocidad de entrada de la pulpa, dejarla caer suavemente sin producir agitación, está en la parte superior del eje.
- **Cono de descarga:** Sirve para sacar la carga asentada hacia las bombas de salida de la pulpa, para ser enviada a los filtros o cochas en caso de tratarse de concentrados, y se encuentra en el centro del fondo del tanque del espesador.
- **El canal de rebalse:** Sirve para recibir el, agua recuperada, agua limpia y clara, y está ubicado alrededor de la parte superior del tanque,
- **Mecanismo de elevación del rastrillo:** Sirve para evitar que el rastrillo se plante cuando el espesador está haciendo fuerza, pueden ser un mecanismo manual y/o automático. Proporcionan un medio para levantar los rastrillos hacia arriba del contacto de la pulpa con mayor concentración de sólidos para así reducir la fuerza de movimiento demandada por el mecanismo de

movimiento, la operación de levantamiento se puede hacer mientras los rastrillos están girando.

- **Mecanismo de movimiento:** Los mecanismos de accionamiento y los espesadores son diseñados dependiendo del tamaño y tipo de soporte que se requiera así como del tipo de espesador, su función es proporcionar la fuerza de accionamiento (o torque) para mover los brazos de los rastrillos y paletas, contra la resistencia de los sólidos sedimentados.

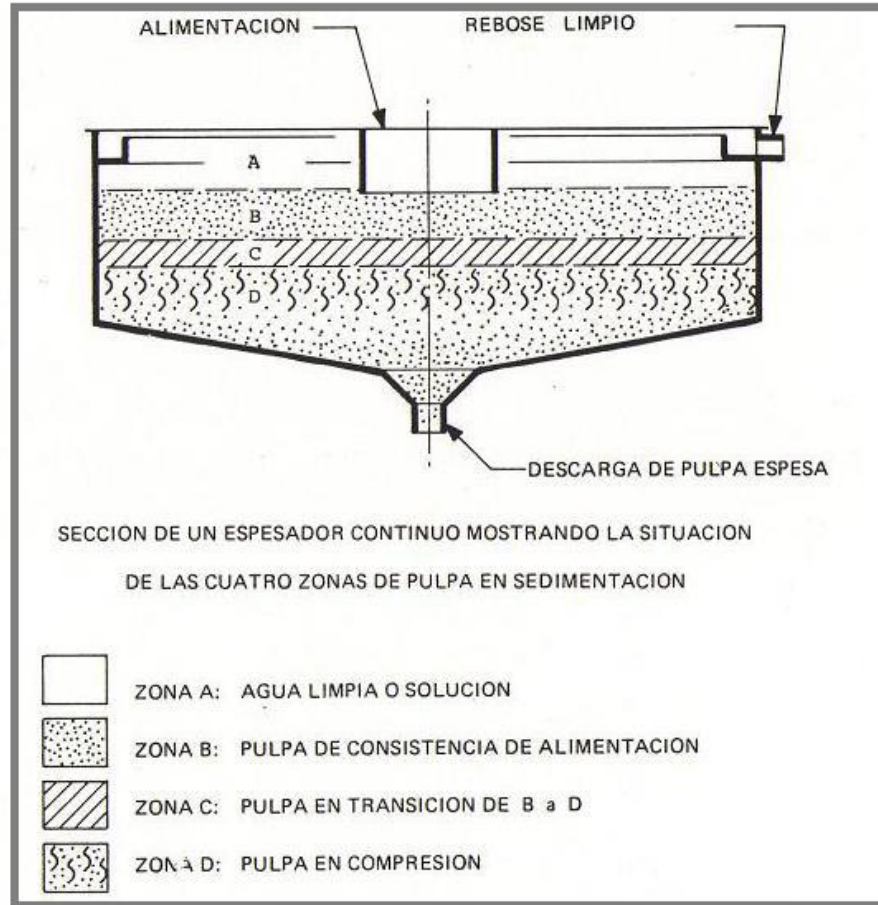
Funcionamiento de un Espesador

Conforme entra el flujo de alimentación en el espesador, los sólidos van decantando hacia el fondo. El líquido clarificado rebosa por la parte superior y los sólidos se evacuan por la descarga inferior.

En la figura a continuación se muestra un corte esquemático en el que se ilustra la operación de un espesador continuo. La zona A que es un líquido de rebose limpio, está libre de sólidos en la mayoría de las aplicaciones. La zona B consta de una pulpa de consistencia poco uniforme cuya concentración se aproxima a la de la alimentación. La zona C es un estado intermedio en el cual la pulpa está en una condición transitoria entre sedimentación por caída libre y compresión. La zona D muestra la pulpa en compresión, produciéndose un desplazamiento del agua por compresión de los sólidos que fuerzan al líquido a salir de sus intersticios.

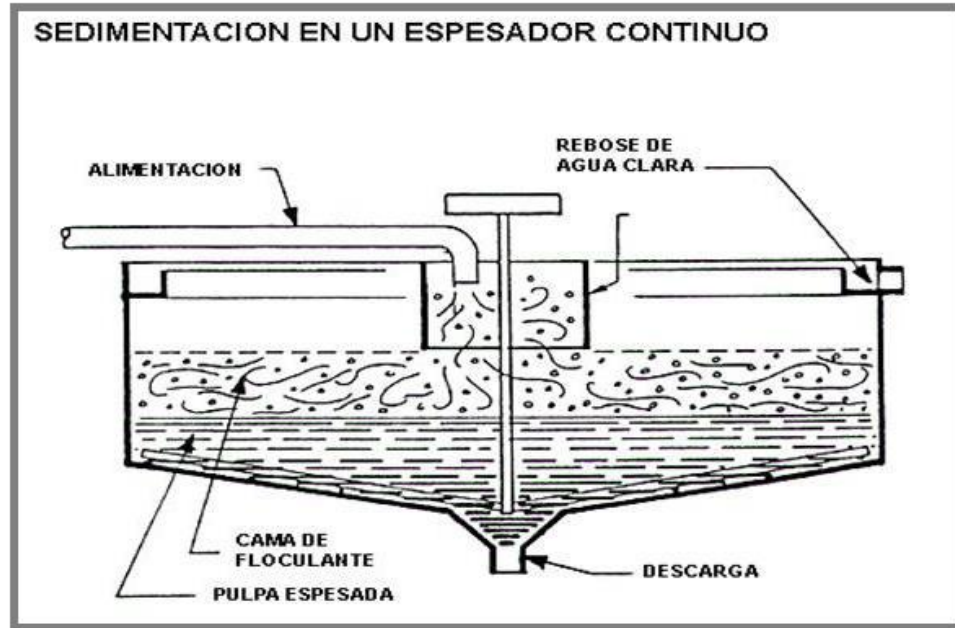
107

En la práctica actual las características que distinguen las zonas A, B, C y D no son muy específicas aparte del aumento en concentración de sólidos, y la descripción resulta más teórica que real.



Espesador Continuo

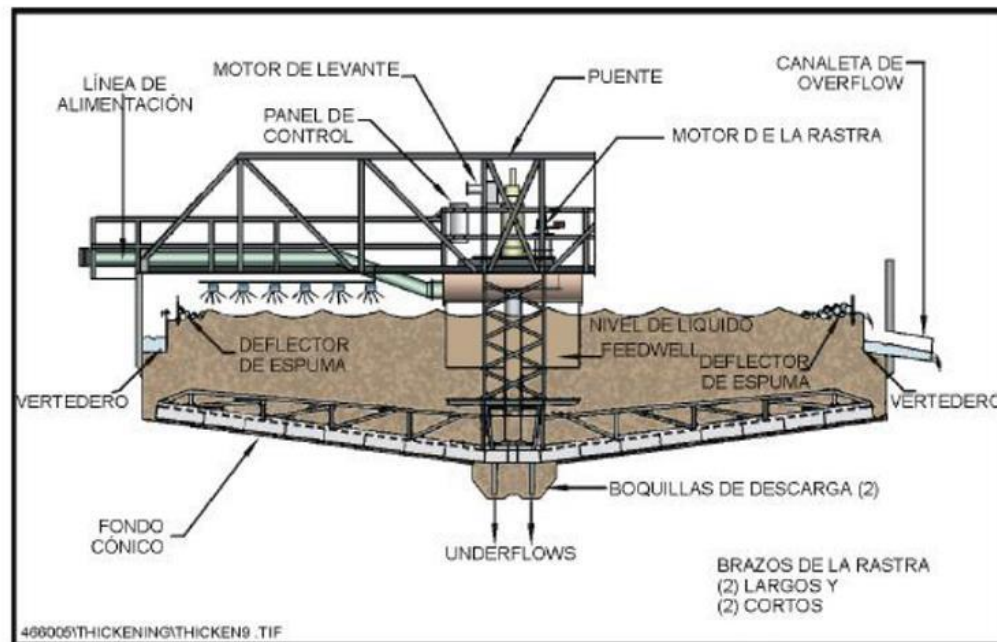
La pulpa alimentada se diluye a la entrada por el cuello central (a no ser que el cuello este sumergido en una zona de pulpa con concentración moderada, como se muestra en la Figura a continuación), y sale del cuello como una suspensión diluida en la cual los sólidos sedimentan, más bien que a partir de una determinada zona o línea determinada. Existe un desplazamiento lateral del fluido dentro y fuera del cuello para mantener esta acción de dilución. Las partículas se van aglomerando sobre la superficie de la pulpa espesada y continúan concentrándose en esta zona hasta llegar a la densidad del lodo.



Elementos y funciones de un Espesador Continuo

- Anillo o Cuello de alimentación sirve para disipar la energía cinética que lleva el flujo de alimentación, así como para proporcionar a la entrada del tanque una condición de relativa tranquilidad y dirigir la pulpa a una profundidad adecuada dentro del espesador.
- El tanque proporciona el tiempo de residencia necesario para producir sólidos sedimentados y líquido clarificado. El fondo inclinado ayuda al movimiento de los sólidos concentrados hacia el punto de descarga.
- Los brazos tienen tres funciones:
 - Mover los sólidos sedimentados hacia el punto de descarga.
 - Mantener un grado de fluidez en el espesador para asegurar la separación hidráulica.
 - Aumentar la concentración de los sólidos en la descarga al establecer una especie de canalizaciones en la pulpa de la zona de compresión, que permiten la salida del agua atrapada:
- El cono o trinchera, con sus rastras, tienen una acción similar a la de los brazos pero en la zona de la descarga.

- El canal de rebose recoge el rebose clarificado y lo lleva a su salida correspondiente. El diseño más adecuado es el de rebose uniforme por toda la periferia del tanque.
- El mecanismo motriz proporciona la fuerza de accionamiento (par) para girar los brazos y rastras en contra de los sólidos sedimentados.
- El dispositivo de elevación de los brazos permite a éstos extraerlos de la zona de los sólidos más concentrados, para disminuir el esfuerzo en el mecanismo de accionamiento. La elevación puede ser efectuada con el sistema motriz en funcionamiento.



110

B. Filtros:

La filtración es un proceso de separación de sólidos en suspensión en un líquido, mediante un medio poroso que retiene los sólidos y permite el paso del líquido.

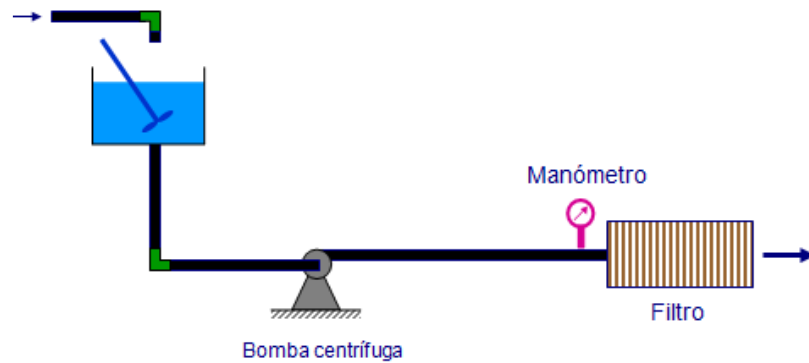
Los equipos del área de filtrado, son parte fundamental del proceso productivo, por cuanto son los encargados de darles la última característica al producto final.

Tipos de filtros según condición de operación

Se pueden clasificar en:

- **Filtros discontinuos (batch)**

La torta debe removerse después de un ciclo. Estos filtros operan por ciclos de filtrado, a tiempo y presión constantes.



111

Filtración discontinua a presión y caudal variable

- Filtros continuos

La torta se retira en forma continua del filtro.

En este tipo de filtros son constantes:

- La caída de presión.
- La alimentación.
- Tiempo de filtración.
- La velocidad de filtrado.

Pero, para cualquier elemento de la superficie filtrante, las condiciones operacionales son transientes (espesor variable).

Se llevan a cabo varias operaciones en serie:

- Filtración.
 - Lavado.
 - Secado.
 - Desprendimiento de torta.
-
- **Filtros de presión o de prensa**

Descripción General

Existen diversos tipos de filtros de prensa los cuales operan conceptualmente de manera similar. El filtro está constituido por placas filtrantes que se cierran para proceder al filtrado y se abren para descargar la torta. Tiene accionamiento hidráulico. El filtro es accionado por una unidad hidráulica, opera a alta presión provista por el aire insuflado por un compresor. Las humedades residuales que se pueden obtener con estos filtros oscilan en el rango de 8 a 12%.

112

Estos filtros presentan un alto grado de automatización y están constituidos, esencialmente, por una serie de placas que cuelgan asentadas desde rodamientos sobre su estructura. Dichas placas pueden moverse alejándose o acercándose entre sí por medio de una placa móvil, que es capaz de “empujar a las restantes”. En el extremo opuesto se ubica la placa fija que, debido a tal condición contiene los “piping” de alimentación y descarga de los filtros.

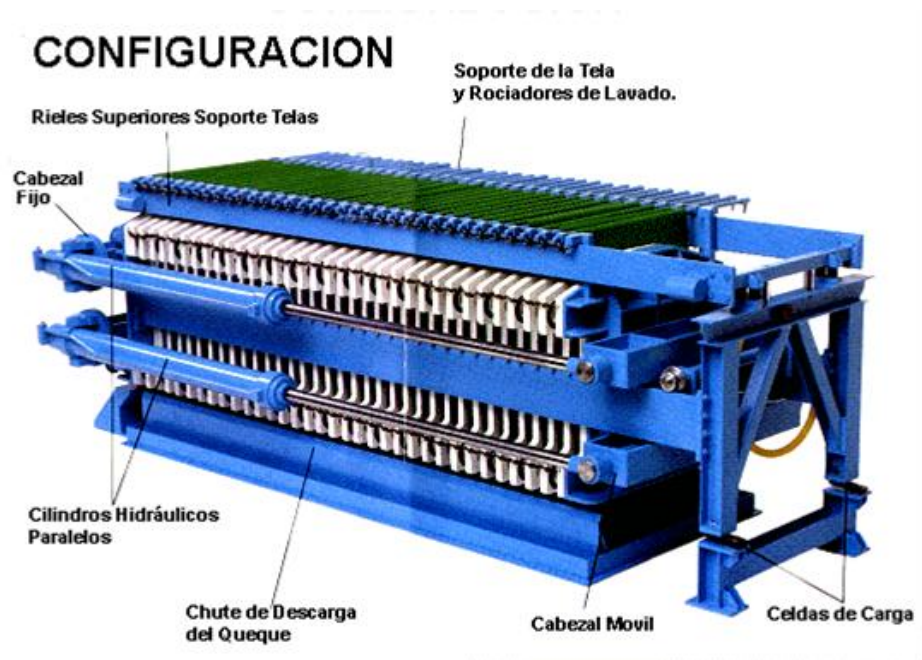
Las características más importantes de este filtro son:

- Gran fuerza de separación.
- Alta presión de bombeo de pulpa.
- Prensado mecánico.
- Secado por flujo de aire.
- Flexibilidad.
- Ajuste a voluntad de las combinaciones indicadas arriba.
- Opción de incorporar un eficiente lavado de torta.

- **Filtro de prensa**

El filtro trabaja en operación batch, constituida por una serie de etapas. Los principales componentes del filtro son:

- Filtro prensa.
- Bomba alimentación pulpa.
- Compresor aire prensado.
- Compresor aire soplado.
- Bomba agua lavado.
- Bomba filtrado.
- Descarga y transporte de torta.



Filtro Prensa

El filtro está formado básicamente por un chasis que soporta las placas filtrantes, las cuales son accionadas por una unidad hidráulica. Las placas son huecas para receptionar la pulpa y están forradas con una tela filtrante. El proceso es discontinuo y el filtro funciona por ciclos de 10 a 15 minutos

cada uno. Cada ciclo incluye etapas de: alimentación de pulpa, prensado, soplado, descarga de la torta y, cierre de placas filtrantes. Las placas permanecen cerradas durante las tres primeras etapas, y, se abren para descargar la torta. Toda la operación del filtro es automática y se puede variar la duración del ciclo y de cada etapa, para obtener las humedades residuales requeridas.

Descripción y funcionamiento básico del filtro tipo larox

Funcionamiento

La filtración toma lugar dentro de cámaras formadas por placas horizontales, la superior y la inferior. La pulpa es bombeada al interior de éstas a una zona que está limitada por un diafragma (parte superior) y una tela filtrante (parte inferior). Esta última actúa como correa transportadora de la torta fuera del filtro.

Consta de un sistema de estruje de torta mediante diafragmas de caucho, inflables hasta 16 bar.

114

Filtración a Presión



14.3. Tareas de Transporte de Concentrado

Rangos de operación del mineroducto

La reología de la pulpa de concentrado a transportar, está relacionado con la resistencia del fluido a deformarse continuamente ante sollicitaciones externas a él y se representa por el respectivo diagrama reológico, el cual entrega la información de viscosidad del fluido y su tensión de corte crítica (que representa el mínimo valor de energía para que inicie su movimiento). La viscosidad de la pulpa de concentrado en el mineroducto debe ser menor a 15,0 cp y la tensión de corte crítica debe tener valores menores a 40 dinas/cm² en condiciones normales de operación. Esto con el fin de asegurar que después de una detención con concentrado sea seguro el reinicio del movimiento de la pulpa en la tubería.

Definición de Reología

La Reología es una disciplina científica que se dedica al estudio de la deformación y flujo de la materia o, más precisamente, de los fluidos. La palabra reología proviene de un término griego que significa fluir.

115

A pesar de que la Reología pudiera cubrir todo lo que tiene que ver con los comportamientos de flujo en aeronáutica, mecánica de fluidos e inclusive la mecánica de sólidos, el objetivo de la Reología está restringido a la observación del comportamiento de materiales sometidos a deformaciones muy sencillas.

Por medio de la observación y del conocimiento del campo de deformación aplicado, el reólogo puede en muchos casos desarrollar una relación constitutiva o modelo matemático que permite obtener, en principio, las funciones materiales o propiedades que caracterizan el material.

Las funciones materiales y relaciones constitutivas tienen varios usos en la práctica, dependiendo del objetivo del estudio de cada tipo de material. En tal sentido pueden distinguirse dos objetivos principales:

1. Predecir el comportamiento macroscópico del fluido bajo condiciones de proceso para lo cual se hace uso de las relaciones constitutivas y de las funciones materiales.

2. Estudiar de manera indirecta la microestructura del fluido y evaluar el efecto de varios factores sobre dicha microestructura. Para esto se comparan las funciones materiales o propiedades reológicas.

Los fluidos que son del interés de la Reología presentan una gama de comportamientos que van desde el viscoso Newtoniano hasta el sólido elástico de Hooke. Dentro de esta categoría pueden conseguirse innumerables materiales tales como el yogurt, la mayonesa, la sangre, las pinturas, las grasas y muchos más.

Fluidos y sólidos

Como fluido se entiende toda porción de materia capaz de deformarse continuamente cuando es sujeta a una fuerza o deformación, a diferencia de los sólidos, los cuales o no se deforman o sólo se deforman hasta cierto punto. Son fluidos todos los líquidos, los gases y otros fluidos de composición más compleja tales como las emulsiones y suspensiones, las pastas y los polímeros fundidos, entre otros. El chicle, la masilla, la masa de pan pudieran también clasificarse como fluidos, aunque algunos pudieran argumentar que son sólidos deformables. En realidad, la clasificación de fluido o sólido deformable no es muy nítida en muchos casos; frecuentemente sólo puede hablarse del grado en que un fluido se acerca a uno u otro tipo de comportamiento.

116

En tal sentido, el comportamiento de los fluidos se puede acotar entre dos extremos, siendo el comportamiento viscoso Newtoniano un extremo y el comportamiento elástico de Hooke el otro extremo. Es justamente dentro de este intervalo de comportamiento que se encuentra el interés de la Reología. Más adelante se explican en qué consisten el comportamiento viscoso Newtoniano y el del sólido elástico. Antes se revisan los conceptos de esfuerzo y deformación.

Parámetros de operación del Mineroducto

El mineroducto está diseñado para transportar concentrados en un cierto rango, los cuales son pueden ser:

- **Distribución de Tamaño de Partículas**

La siguiente tabla resume los rangos de distribución de tamaño de partículas para el mineroducto. La tabla presenta porcentaje acumulado pasante versus tamaño de partículas.

Tamaño	Acumulado Pasante
149 μm (malla 100)	99.7%
105 μm (malla 150)	97.9%
74 μm (malla 200)	91.8%
53 μm (malla 270)	80.9%
37 μm (malla 400)	67.6%

Indiquemos sí que básicamente, los valores reales granulométricos considerados en operación son lo indicado, malla +100 no debe ser mayor a 1% (máximo 1% retenido en la malla 100) y malla -325 entre 70 a 80% (entre 70 a 80% pasante malla 325).

○ **Concentración**

Las concentraciones de transporte de concentrado, adecuadas en concentración en peso de sólidos, son las siguientes:

- Concentración mínima para transporte: 62 % en peso.
- Concentración nominal para transporte: 63 % en peso.
- Concentración máxima para transporte: 65 % en peso.

117

El transporte de concentrado con concentraciones fuera de este rango podría ser posible, pero solamente después de haber sido revisado y aprobado por el ingeniero de procesos del Mineroducto.

○ **pH:**

- pH mínimo para transporte 10,0.
- pH máximo para transporte 11.5.

○ **Temperatura:**

Temperatura para transporte 20°C.

○ **Gravedad Específica de Sólidos:**

Gravedad Específica de los sólidos = 4.17

○ **Rango Límite de Operación:**

La selección de diámetros de la tubería, de bombas principales y de cantidad de anillos disipadores tiene como resultado un sistema de transporte con una capacidad que entrega alguna flexibilidad a la operación para manejar las variaciones de tonelaje asociadas al Plan Minero.

○ **Límites de Tonelaje:**

El tonelaje máximo de diseño para el mineroducto equivale a 1.65 MTA considerando el transporte a una concentración de 65% de sólidos en peso y una disponibilidad anual de 98.5% para el mineroducto.

La siguiente tabla resume los tonelajes de diseño, definidos para una disponibilidad del mineroducto igual a 98.5%.

Condición de operación	Tonelaje (T/H)	CP(%)
Nominal	163	62
Máximo	191	65
Mínimo	131	60

Para finalizar, nunca olvide seguir todas las normas de seguridad planteadas antes de realizar alguna operación en los equipos utilizados en el taller, laboratorio de procesos, o faena. Debe recordar que estamos siempre propensos a cualquier accidente del tipo leve o fatal por desconocimiento o por no seguir las normas y procedimientos.